técnica

448 associação dos estudantes do instituto superior técnico
março 1978 revista de engenharia

SOMAPRE

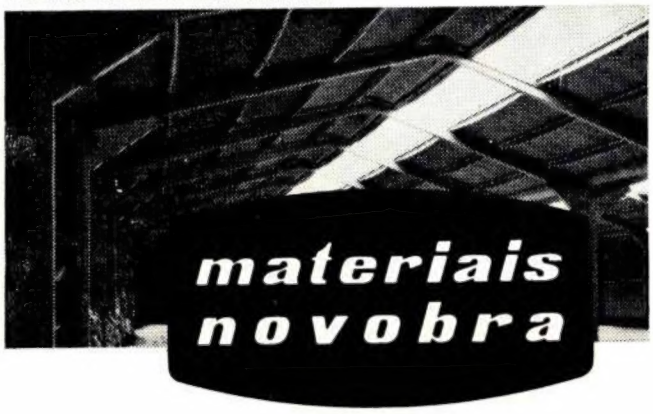
COBERTURAS
PARA TODOS OS FINS

SOMAPRE

SOCIEDADE DE MATERIAIS PREESFORÇADOS, S.A.R.L.
Av. da República, 83-2.º - tel. 760045/6/7/8 - Lisboa

PÓRTICOS «CRENDON»

De pré-fabricacão total, montagem rapidíssima feita pelas n/ equipas especializadas e de aproveitamento total de todo o espaço em altura visto não existirem linhas de asnas.



A mais vasta gama em pré-fabricados de betão.

Pavimentos, coberturas, asnas, perfis especiais, «post-esforço Losinger», pontões, vigas de grande vão, pórticos «Crendon», pavimento «Trief», protecção de segurança «Trief», mosaicos, tubos, blocos «Leca», espaçadores de betão, estacas para vinhas e pomares e pré-fabricação total ou parcial.

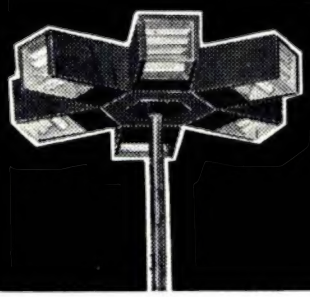
Fábricas em: Lisboa, Leiria, Lagoa, Guarda e Moita.

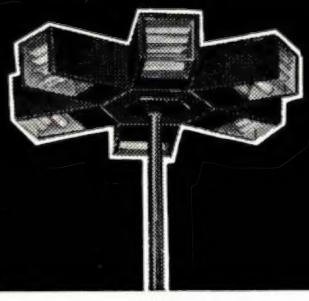
Sede: Av. Est. Unidos da América, 100-5.º Dt.º — Lisboa-5
Telefones — Serviços Administrativos: 77 48 32 - 77 29 53 • Telex: 18373 NOVOBA P
Serviços Técnicos: 89 41 16/7/8 - 89 93 31/2

CONSTRUA COM CONFIANÇA - CONSULTE-NOS

ARMADURA-EI

Iluminação
é o nosso ofício





SCHRÉDER, S.A.R.L.

Carnaxide — Tel. 218 00 37

técnica

NÚMERO 448 MARÇO DE 1978 ANO LIII VOLUME XXXIX PUBLICAÇÃO MENSAL

DIRECTOR
José Luís S. V. Azevedo

COLABORADORES
João José Águas
Custódio Alves Tomé
António Madeira Cruz
Fernando Dias
José Pereira Pacheco
Sérgio Duarte Santos (F. C. Tecnologia — Coimbra)

FUNCIONÁRIOS
Jorge Graça
Fernanda Sanches

DIRECÇÃO, REDACÇÃO E ADMINISTRAÇÃO
Av. Rovisco Pais, I. S. T. — Lisboa
Telefone 88 93 23

PROPRIETÁRIO
A. E. I. S. T.

•

ASSINATURAS:	5 n.os	10 n.os
Continente e Ilhas	200$00	350$00
Países de língua Portuguesa e Espanha...	220$00	380$00
Estrangeiro	—	550$00
Número avulso ...	—	60$00

Não se publica em Agosto e Setembro.

Os artigos assinados são da exclusiva responsabilidade dos autores.

•

COMPOSIÇÃO E IMPRESSÃO:
OF. GRÁFICAS DE RÁDIO RENASCENÇA
Rua Duques de Bragança, 6 — LISBOA - 2

SUMÁRIO

453 — **MANUEL JOSÉ ABREU FARO e PEDRO LUÍS BORGES TEIXEIRA — Concepção e projecto de sistemas de telecomunicações no País.**

Conception and plan of telecommunication systems in Portugal.

463 — **JOSÉ A. TEIXEIRA TRIGO — Tecnologias da construção de habitação.**

Housing construction methods.

485 — **ANTÓNIO JOSÉ CORREIA MINEIRO — Acidentes em obras de engenharia civil e a responsabilidade dos engenheiros. O caso da barragem de Teton.**

Collapse in civil engineering works and engineering responsability. Teton dam's case.

493 — **ANTÓNIO BETÂMIO DE ALMEIDA — Escoamento com superfície livre em canais de secção circular.**

Flow in open channels with circular section.

505 — **J. M. MADEIRA COSTA — Betão reforçado com armadura metálica.**

Normal concrete reinforced with steel.

461 — **NOTICIÁRIO**

CAPA — Barragem de TETON: queda do coroamento.

ÍNDICE ALFABÉTICO DOS ANUNCIANTES

	Pág.
Aguiar & Melo, Ld.ª	VI
Construções Schréder	2.ª da capa
GTR — Gab. Técnico de Revestimentos, Ld.ª ...	IV
MAGUE	III
Metropolitano de Lisboa	V
Novobra, Ld.ª...	2.ª da capa
S. K. F., Ld.ª...	I
Soc. Portuguesa Cavan...	II
SOMAPRE	2.ª da capa
Sopecate	II

Colabora neste número a Agência de Publicidade — H O R A

técnica

NÚMERO 448 MARÇO DE 1978 ANO LIII VOLUME XXXIX PUBLICAÇÃO MENSAL

C. D. U. 621.39(469)

Concepção e projecto de sistemas de telecomunicações no País

ABREU FARO
PEDRO TEIXEIRA

2.1.1.3 — Planeamento da rede nacional — Tipo especial de projecto de telecomunicações

Uma das actividades do projecto de telecomunicações, ao nível dos serviços públicos, centra-se no domínio do planeamento da rede nacional, cujo desenvolvimento, cada vez menos, se pode processar de uma forma casuística. Na verdade cada opção tomada hoje repercute-se por vários anos e certamente condicionará toda a rede.

O planeamento da rede nacional de telecomunicações exige o concurso de engenheiros de telecomunicações de várias especialidades, mas a sua crescente complexidade justifica o concurso de matemáticos, economistas e técnicos de informática, constituindo todos uma verdadeira equipa.

O planeamento de uma rede nacional pressupõe naturalmente a definição de uma política nacional de telecomunicações, com fixação de objectivos e enunciado de prioridades e a coordenação da actividade das empresas envolvidas no sector.

Finalmente o planeamento das telecomunicações tem de se suportar em estatísticas de confiança (quer no campo das telecomunicações, quer no da economia ou demografia), em rigorosas medidas de tráfego (pormenorizadas quer na sua distribuição por feixes, quer na sua repartição no tempo), em diversos números-índice (relativos a custos de equipamentos, a despesa de conservação, a qualidade de serviço e fiabilidade da rede, etc.). A cooperação com as entidades de planeamento de serviços de apoio e com os organismos públicos, regionais e locais é também fundamental.

A primeira actividade, fundamental para todo o restante trabalho, é a da análise da procura dos serviços e a elaboração de previsões de necessidades, expressas em número de fontes de tráfego, sua natureza e seu volume. Tratando-se de valores fortemente condicionados pelo contexto socio-económico e pela própria rede, nomeadamente através da qualidade dos serviços oferecidos e seu custo para os assinantes, exigem a existência das bases de trabalho já referidas. Métodos diversos devem ser aplicados e comparados os seus resultados, desde os processos comparativos (com redes análogas) às sondagens e assinantes potenciais (muito importantes para serviços novos como a comunicação de dados) passando pelos processos de extrapolação (através de curvas de tipo logístico) e análises de correlação (com a evolução de indicadores económicos).

A definição da estrutura da rede é um aspecto importante do qual decorrem todas as acções parcelares nos domínios da transmissão e da comutação. A hierarquia da rede e sua implantação geográfica determinam o plano de numeração e o plano de transmissão correspondente, de modo a respeitar os equivalentes definidos pelo CCITT. Trata-se de definição para um prazo dilatado e numa rede existente constituem um dado, havendo que notar, no entanto, que a mudança progressiva para uma rede digital e a implementação de novas tecnologias podem justificar a sua alteração. O período de transição, obrigando à utilização de conversores analógico-digitais, que introduzem ruído suplementar, pode ter implicações na estrutura da rede.

Ainda em relação a essa estrutura que é, basicamente e excepto nas ligações entre os centros de trânsito interurbano, em estrela, há que estabelecer, sempre que o tráfego o justificar e considerações de ordem económica e técnica o aconselharem, liga-

ções transversais directas entre centros de hierarquia igual ou distinta. O dimensionamento destas ligações e a concessão da possibilidade de encaminhamento do tráfego excedente pelos centros de trânsito (transbordo) é um problema de optimização, envolvendo teoria de tráfego e o custo dos dois tipos de ligação.

Definido o plano de comutação há que planear a estrutura da rede de transmissão, ao nível das artérias principais e sua capacidade. Também neste aspecto se a uma estrutura em estrela corresponde, em geral, um menor custo, diversos aspectos complicam a questão, não só relacionados com a existência de certas infraestruturas em meios de transmissão que importa ter em conta, mas também com a necessidade de aumentar a fiabilidade da rede, diversificando encaminhamentos quer em percursos geográficos, quer em meios de transmissão. A necessidade de dispor de capacidades de reserva para reencaminhamento, de preferência por comutação automática, de grupos de alta hierarquia em caso de avarias, é outro aspecto a considerar.

O estudo da estrutura óptima de uma rede é, pois, um problema complexo obrigando ao recurso a métodos de investigação operacional e conceitos de topologia e teoria de grafos e à utilização de computadores, pela multiplicidade de hipóteses que envolve.

O planeamento da rede deverá, finalmente, definir através de um programa detalhado as alterações à sua estrutura, a entrada em funcionamento de novos comutadores e sistemas de transmissão e respectiva tecnologia, no seguimento de estudos tecnico-económicos que atendam, quer à rede existente quer às suas tendências evolutivas.

2.1.1.4 — Rede pública de telecomunicações e perspectivas para a concepção e projecto de sistemas no País

A rede pública de telecomunicações, pelo volume e diversidade dos equipamentos que a integram e pelos vultosos investimentos que envolve, oferece um vasto campo de acção no domínio da concepção, projecto e fabrico de equipamento no País. Importa salientar que uma parcela significativa deste material é importada e que, por outro lado, são grandes as necessidades do País neste sector, de alguma maneira condicionante do seu desenvolvimento económico.

Impõe-se naturalmente o estabelecimento de um esquema de cooperação envolvendo a indústria nacional de telecomunicações e electrónica, as empresas públicas do sector e as universidades e organismos de investigação, à semelhança do que acontece com um grande número de países europeus. O objectivo último deve ser sempre o desenvolvimento de protótipos nacionais, com a máxima incorporação de capital nacional, desde que se justifique técnica e economicamente.

A definição clara e programada das necessidades das várias gamas de equipamento é uma base fundamental para o estudo da viabilidade dos programas de fabrico. Aos serviços públicos competirá essencialmente essa definição, bem como todo o apoio na concepção geral dos sistemas e na sua normalização, naturalmente integradas nas recomendações dos organismos internacionais. À indústria nacional caberá o desenvolvimento pormenorizado do protótipo, nomeadamente ao nível dos circuitos electrónicos, e o fabrico do equipamento, em cujos ensaios voltam os serviços públicos a poder ter um papel importante. Finalmente as universidades e organismos de investigação desempenharão uma missão importante no estudo de problemas específicos e fundamentalmente na investigação dos sistemas do futuro e, em particular, de novos métodos de processamento da informação.

A análise dos domínios prioritários em que deve incidir um programa de concepção e fabrico de equipamento em Portugal cabe inteiramente no âmbito da referida cooperação e envolve, por parte das entidades públicas e governamentais, a definição clara de uma política nacional de telecomunicações e o estabelecimento de plataformas de trabalho com a indústria, assentes num planeamento rigoroso do desenvolvimento da rede e no estudo atento das possibilidades de exportação.

É importante, no entanto, salientar dois domínios que têm envolvido grande parte dos investimentos do sector: as centrais de comutação telefónica e equipamentos de multiplexagem. Se no primeiro caso se têm instalado em largas zonas do País estações inteiramente concebidas e projectadas no País (no C. E. T. dos CTT em Aveiro), no segundo o material tem sido praticamente todo importado, com reduzida incorporação de capital nacional.

É pois desejável a continuação da concepção no País de sistemas de comutação, integrados nas tendências evolutivas da rede já traçadas.

Quanto ao equipamento de multiplexagem parece razoável encarar-se, desde já, a hipótese do fabrico nacional do equipamento cujo volume o justifique. Relativamente aos sistemas FDM, embora a tendência evolutiva aponte para a larga difusão de sistemas digitais, há toda uma infraestrutura, de tipo analógico, a fazer prever a sua necesidade, em quantidades significativas, durante algum tempo. Sendo a sua tecnologia e filosofia de sistema bem conhecidas, será eventualmente justificável o desenvolvimento de protótipo nacional, até ao nível de formação de grupo secundário básico. Em termos de futuro mais alargado toda a atenção deve ser virada para os sistemas PCM, muito especialmente até à formação das primeiras hierarquias.

Outros domínios possíveis, em que poderá interessar o início ou o desenvolvimento de actividades de concepção e projecto no Pas, coordenadas com uma política de protecção aos equipamentos nacionais são o dos modems até médias velocidades, dos

sistemas de alimentação ou dos cabos. Neste último caso, atenção especial deverá ser prestada à tendência, por várias vezes referida, para a difusão dos sistemas PCM.

2.1.1.5 — Alguns aspectos da comutação telefónica automática no contexto nacional

EVOLUÇÃO HISTÓRICA

Os «saltos qualitativos» que resultaram da incorporação de novos conceitos ou de avanços tecnológicos, permitem considerar várias «gerações» de Sistemas de Comutação.

a) Sistemas rotatórios do controlo directo (tipo STROWGER).
Rede de comutação com selectores rotatórios, comandados directamente pelos impulsos de digito.

b) Introdução do conceito de controlo centralizado.
Controlo por circuitos de relés independentes da rede de comutação, com uma taxa de utilização mais racional do que em *a)*.

c) Substituição dos selectores rotatórios por selectores de coordenadas.
Generalização, à rede de comutação, da tecnologia do relé já existente na unidade de controlo.

d) Substituição da unidade de controlo por ordenadores de comutação.
Introdução da tecnologia electrónica e da técnica do trabalho em divisão temporal.

e) Substituição da rede de comutação electromecânica por uma «rede de comutação» de divisão temporal.
Generalização, à rede de comutação, da tecnologia e técnica de trabalho já existentes na unidade de controlo.
Criação de «redes integradas» de telecomunicações, em que tanto a transmissão como a comutação utilizam técnicas digitais e de divisão temporal.

SITUAÇÃO ACTUAL DO MERCADO E INDÚSTRIA NACIONAIS

Os sistemas actualmente em fabrico e instalação no nosso país são, sobretudo, sistemas electromecânicos de barras cruzadas (controlo por circuitos de relés), desenvolvidos há cerca de 20 anos. Começam a entrar em funcionamento as primeiras centrais semi-electrónicas (controlo por ordenador).

O «conservadorismo tecnológico» neste campo é justificado:

a) a nível de indústria.
Pela necessidade de manutenção dos postos de trabalho, não alterando as actuais linhas de produção, como resultaria de uma mudança brusca do sistema.
Pelo aumento da dependência tecnológica, que no entanto pode, e deve, ser rapidamente suprida por importação de know-how.

b) a nível das Administrações Telefónicas.
Pela diversificação dos trabalhos de conservação e manutenção.

PERSPECTIVAS FUTURAS DA INDÚSTRIA NACIONAL

Apesar das reservas apresentadas, são grandes as vantagens a apontar aos sistemas da nova geração (controlo por ordenador):

a) São mais compactos, mais flexíveis, proporcionam um maior número de facilidades aos assinantes e são mais baratos, em preço por linha de assinante, que os sistemas da geração anterior (a competitividade económica é condição «sine qua non» para serem aceites pelas Administrações).

b) São os únicos capazes de penetrar o mercado de exportação, que se «fecha» aos sistemas electromecânicos.

Dado que:

— o nosso desenvolvimento tecnológico em Comutação é velho de 20 anos;
— o período actual (cada vez mais reduzido) de substituição de uma geração de sistemas por outra posterior é da ordem dos 5 anos;
— a dimensão do mercado nacional não permite considerar economicamente viável o investimento necessário a um desenvolvimento autónomo neste campo de actividade;

a evolução tecnológica da indústria nacional deverá ser feita com base na incorporação intensiva e permanente do know-how dos países mais desenvolvidos no campo da Comutação por forma a:

— permitir que a indústria nacional, a quem o mercado interno não tem capacidade para absorver a totalidade da produção actual, possa ter veleidade de acesso ao mercado de exportação, única solução para conservação dos actuais postos de trabalho;
— evitar que, a curto prazo, a indústria nacional deixe de ser competitiva, tecnológica e economicamente, com outras empresas não nacionais, a quem não desagradaria a conquista do mercado português.

2.1.2 — Radiodifusão sonora

2.1.2.1 — Introdução

A radiotelefonia com carácter experimental teve início antes da primeira grande guerra.

A primeira transmissão de voz e música por

ondas hertzianas de que há registo foi realizada na véspera de Natal do ano de 1906 pelo Dr. Reginald Fessenden em Brant Rock, Massachussets, nos Estados Unidos. Como emissor, utilizou um alternador de rádio-frequência de 50 kHz, com cerca de 1kW, construído pela General Electric sob a direcção do Dr. Alexanderson.

Na Europa, o Dr. Valdemar Poulsen fez em 1907 um ensaio de transmissão de voz entre Copenhague e Berlim, utilizando um emissor de arco de sua invenção.

Entre 1907 e 1910, o Dr. Lee de Forest realizou também, com emissores de arco, transmissões experimentais de voz e de música, do seu laboratório em Nova York, da Torre Eiffel em Paris e da Metropolitan Opera House em Nova York. Apesar de prejudicadas pelo elevado nível de ruído inerente ao tipo de emissores utilizado, as transmissões foram dignas de nota, especialmente as últimas, que incluíram actuações do famoso tenor Enrico Caruso e de outros grandes artistas da época.

Com a descoberta que o tríodo de Forest podia gerar oscilações, apareceram os primeiros emissores de válvulas e iniciou-se uma série de transmissões experimentais de radiotelefonia de alta qualidade, entre elas, as de Forest em 1916, de Nova York, e as da AT & T da Estação Naval de Arlington, Virgínia, em 1915, que eram ouvidas em Paris e em Honolulu. O primeiro serviço público de radiodifusão foi finalmente inaugurado em Novembro de 1920 em Pittsburgh, Pensilvânia, com a estação KDKA da Westinghouse. A criação deste serviço foi o corolário natural do enorme interesse despertado pelas transmissões experimentais do Dr. Frank Conrad, da Westinghouse, com a sua estação amadora de radiotelegrafia, entretanto convertida para radiotelefonia. Os seus programas de duas horas, às quartas e sábados, faziam esgotar rapidamente os receptores de galena que um armazém local punha à venda.

Em 1921, são inauguradas também em França e em Inglaterra estações emissoras de radiodifusão que pouco a pouco vão sendo instaladas nas grandes cidades dos países industrializados. A aceitação do público foi entusiástica e em 1924, só nos Estados Unidos, já havia mais de 500 estações.

2.1.2.2 — Emissores

Os emissores inicialmente utilizados em radiotelefonia foram os emissores de arco e os alternadores de rádio-frequência.

Os emissores de arco foram inventados pelo dinamarquês Poulsen em 1903.

Antes do aparecimento dos emissores de válvulas, chegaram a fabricar-se emissores de arco de 1000 kW.

Os alternadores de rádio-fequência eram geradores de alta velocidade que produziam rádio-frequência directamente. Chegaram a construir-se alternadores de 200 kHz com uma potência de 1 kW e de 200 kW, de frequência inferior a 50 kHz.

O tríodo («audion»), inventado por de Forest em 1907, depois de aperfeiçoado após as conclusões de Langmuir e Arnold sobre a necessidade de um vácuo mais perfeito e de um filamento mais eficiente (conseguido por Wehnelt com a utilização de uma camada de óxido sobre uma base metálica) abriu caminho para os emissores de válvulas. A realização prática, em 1925, de válvulas arrefecidas por água, com potências dissipáveis no anodo superiores a 500 kW, permitiu o fabrico de emissores de potências bastante elevadas. Ao mesmo tempo a utilização de válvulas arrefecidas por ar forçado resultou numa grande simplificação dos emissores de potências até 50 kW. Em 1951, C. Beurtheret, da Thomson Houston, inventa o vapotron, válvula cujo arrefecimento se faz utilizando o calor de vaporização da água para efectuar a máxima transferência de calor do anodo para a água a ferver numa câmara (ebulidor) à sua volta. Este sistema permite obter rendimentos da ordem dos 60 %, e uma diminuição espectacular da área ocupada pelos emissores, por diminuição do número de andares de amplificação necessários para determinada potência e pela dispensa dos grandes ventiladores.

A modulação da onda portadora, nos primeiros emissores utilizados em radiotelefonia, era feita por absorção, com um microfone de carvão ligado em série com a antena, em paralelo com a bobina de antena ou acoplado indutivamente à bobina da antena. A principal dificuldade encontrada pelos experimentadores na radiotelefonia era a modulação de elevadas correntes de alta frequência por meio de um microfone que não aquecesse demasiado. Várias soluções foram tentadas: microfones em série, microfones comutáveis para substituição dos que aqueciam, microfones arrefecidos por água e por óleo, microfones líquidos, etc.

Os primeiros emissores de válvulas consistiam geralmente de osciladores auto-excitados modulados por moduladores Heising de corrente constante, classe A. O elevado custo e as dificuldades do projecto de moduladores classe A de potências elevadas limitavam a percentagem de modulação, nesses emissores, a valores que iam de 15 a 50 %. O emissor da AT & T em Arlington utilizava 500 válvulas em paralelo nos amplificadores classe A e um dos primeiros emissores de 50 kW, já com válvulas arrefecidas por água, utilizava 22 válvulas no modulador classe A para conseguir 40 % de modulação. Só cerca de 1930 é que se conseguiu de maneira satisfatória 100 % de modulação com o madulador classe B, sistema Chireix e sistema Doherty.

Os primeiros experimentadores não se aperceberam da existência de bandas laterais como resultado da modulação de amplitude. Elas foram apenas descobertas por Carl Englund em 1914, quando apresentou pela primeira vez a equação da onda modulada. Esta descoberta foi de grande importância, tendo levado ao estabelecimento do espaçamento de 10 kHz entre canais (antes, havia quem pensasse que

o único limite para o número de canais dependia do valor mínimo que se pudesse obter para a resistência do circuito de antena).

O interesse em diminuir o espaçamento entre canais reavivou o interesse pela modulação de frequência. Já em 1902 Cornelius Ehret, um advogado de patentes de Filadélfia, entregara na Repartição ção de voz ou sinais de código por variação de frequência de ondas hertzianas. Como o tríodo de Forest ainda não tinha sido inventado, Ehret apresentava um emissor de faísca, da época.

J. R. Carson publicou em 1922 o seu famoso artigo onde mostrava que a modulação de frequência não conduzia a uma banda mais estreita mas, pelo contrário, a uma banda mais larga. Contudo, concluía erradamente que a modulação de frequência introduzia distorção no sinal, o que na altura fez com que este método de modulação fosse posto de lado como sem interesse. Mas Armstrong, preocupado durante anos com o problema do ruído, descobre em 1933 que a modulação de frequência de banda larga (± 75 kHz) permitia a eliminação substancial do ruído atmosférico e de certas formas de ruído artificial. O seu nome está indissoluvelmente ligado a este método de modulação desde a publicação do seu histórico artigo em 1936. O serviço de radiodifusão com modulação de frequência tem início nos Estados Unidos em 1941, na banda dos 40 MHz, e a sua autorização a ele se deve. Pouco depois, é-lhe atribuída a banda de 88 a 108 MHz, com 100 canais de 200 KHz de largura de banda. A estereofonia é introduzida neste serviço pela primeira vez em 1961, também nos Estados Unidos.

Os emissares de arco eram alimentados por geradores de corrente contínua e/ou baterias de acumuladores; os emissores de válvulas foram sendo sucessivamente alimentados por geradores de corrente contínua, rectificadores mecânicos, rectificadores de mercúrio, de gás e de vácuo e rectificadores de germânio ou silício.

Nos primeiros emissores de válvulas, a geração de rádio-frequência era feita por osciladores auto-excitados, de baixa estabilidade. A frequência da onda portadora chegava a variar de milhares de «Hertz» em relação à frequência nominal. Foi cedo reconhecido que era fundamental um controlo preciso da frequência e o oscilador controlado por cristal de baixo coeficiente de temperatura veio remediar a situação, em 1926. Recentemente, os sintetizadores de frequência vieram ao encontro da necessidade de variar rapidamente e possivelmente de forma automática a frequência: controlados por uma única fonte de elevada estabilidade, permitem obter qualquer frequência numa larga banda.

Vários melhoramentos, em componentes, resultaram num aumento de fiabilidade e numa redução de tamanho dos emissores. Merecem especial citação os condensadores e contactores de vácuo, com ampolas de vidro e de cerâmica. Não é demais realçar o papel de primordial importância desempenhado pelos condensadores variáveis de vácuo no desenvolvimento dos emissores de onda curta, em que a facilidade de mudança de frequência é fundamental.

Outro melhoramento importante foi a supressão da auto-oscilação nos amplificadores de potência (por neutralização das capacidades inter-electródicas dos tríodos de cátodo à massa, por utilização de tríodos de grelha à massa ou por utilização de tetródos).

Há cerca de vinte anos, começaram a ser utilizadas estações emissoras de onda média e de modulação de frequência sem assistência, com telecomando, telemedida e teleregisto.

Nos emissores de onda curta, o tempo necessário para a mudança de frequência vem sendo sucessivamente reduzido. O ajuste de indutores e condensadores deixa de ser feito manualmente para ser feito por meio de motores. É utilizado o maior número possível de andares de amplificação de banda larga sem circuito selectivo exigindo, portanto, uma perfeita linearidade para evitar o aparecimento de produtos de distorção harmonicamente relacionados ou não. Apenas os andares finais têm circuitos ressonantes que podem inclusivamente ser ajustados automaticamente por servo-comando, através de detectores de fase. Num emissor típico de 250 kW, de sintonia automática, uma mudança de frequência demora 12 segundos.

2.1.2.3 — Receptores

Até ao fim da primeira grande guerra, eram exclusivamente utilizados os receptores de cristal (silício, carborundo ou galena) de baixa sensibilidade e de grande instabilidade.

O receptor de reacção, baseado no circuito inventado por de Forest e Armstrong em 1912, atinge o seu máximo aperfeiçoamento em 1922, altura em que existiam no mercado vários modelos, permitindo a recepção não só das únicas duas frequências de radiodifusão existentes (1000 kHz e 833,3 kHz) mas também da onda marítima (500 kHz) e da banda dos amadores (1200 a 1500 kHz). Estes receptores tinham elevada sensibilidade mas eram muito instáveis, de difícil ajuste e com o inconveniente da presença, altamente perturbadora, de frequências audíveis durante o período de ajuste, tendo acabado por ter um efeito negativo no entusiasmo do público pela rádio.

Em 1923, eram postos à venda os receptores neutrodinos com andares amplificadores de rádio-fequência sintonizados e neutralizados (circuito inventado por Hazeltine em 1918). Este tipo de receptores teve muita voga, sendo bastante procurados devido à sua estabilidade. Só começaram a cair em desuso em 1928, com o emprego da válvula com segunda grelha (inventada por Schottky), que eliminou a necessidade de neutralização.

Em 1924, surge o receptor superheterodino como resultado dos trabalhos de Levy em França, Round em Inglaterra e Armstrong nos Estados Unidos. Com este tipo de receptores, o desenvolvimento de válvulas multi-grelha e o invento por Wheeler em 1926

do controlo automático de volume, a sintonia dos receptores tornou-se muito simples, ao alcance de qualquer pessoa. Os receptores passaram a ter apenas um comando de sintonia, um comando de volume e, mais tarde, como aperfeiçoamento, um comando de tonalidade.

Cerca de 1930, os receptores até aí alimentados por baterias de acumuladores puderam, com o aparecimento das válvulas de cátodo de aquecimento indirecto, passar a ser ligados à rede de corrente alternada. O maior consumo, possível, permitiu aumentar o número de válvulas utilizadas no receptor, conseguindo-se a selectividade e sensibilidade requeridas para a alimentação dos altifalantes electrodinâmicos. A antena utilizada também evoluiu: o fio exterior pode ser substituído em 1939 por antenas de quadro incorporadas e em 1950 começam a ser usadas extensivamente antenas de ferrite.

Em 1927, são fabricados por encomenda os primeiros receptores para automóveis e a sua produção em massa inicia-se em 1931.

Cerca de 1955, são comercializados os primeiros receptores de transistores. As suas reduzidas dimensões, o seu pequeno consumo, permitindo a sua alimentação por pilhas, e o seu baixo custo dão-lhe uma expansão extraordinária passando hoje a sua presença a verificar-se positivamente em toda a parte.

2.1.2.4 — Antenas

As primeiras estações de radiodifusão utilizavam antenas «T», antenas de «L» invertido e antenas verticais de topo carregado, com sistemas de terra rudimentares e rendimento muito baixo.

Foram versões reduzidas destas as antenas inicialmente utilizadas em onda média. O desenvolvimento de antenas para esta banda fez-se de maneira muito lenta. A obtenção de vastos conhecimentos sobre a propagação tanto da onda terrestre como da onda espacial, os trabalhos de Brown, Gihring e Ballantine sobre antenas de onda média (1934 e 1936) e o estudo detalhado dos sistemas de terra (Lewis e Epstein — 1937) estabeleceram finalmente uma base firme para a engenharia de antenas de onda média. Utiliza-se quase universalmente a polarização vertical em virtude de a atenuação da onda terrestre ser menor do que para a polarização horizontal. Os radiadores são, normalmente, torres com alturas de 45 a 300 metros, correspondendo a valores que vão de 1/6 a 5/8 de comprimento de onda, ou mesmo mais, alimentadas em série ou em paralelo. Ocasionalmente, utilizam-se cargas no topo e torres seccionalizadas com o fim de obter melhor directividade. O sistema de terra utilizado é constituído por 120 radiais de fio de cobre de 1/4 de comprimento de onda, no mínimo. O diagrama de radiação é omnidireccional no plano horizontal. Quando se pretendem diagramas de radiação especiais, para maximizar ou minimizar a intensidade de radiação em determinada direcção, utilizam-se sistemas direccionais constituídos por várias torres, por vezes de alturas diferentes, com espaçamento e distribuição de corrente adequados.

Diplexers são utilizados para permitir a utilização simultânea de uma mesma torre em duas frequências diferentes.

As antenas utilizadas em onda curta são principalmente dipolos e agregados de dipolos (cortinas). A capacidade que a cortina possui de, mesmo com sistemas de alimentação relativamente simples, permitir a obtenção de qualquer diagrama de radiação de uma maneira muito aproximada, torna-a a antena indicada para um serviço de radiodifusão de qualidade. A desvantagem, num serviço que utiliza várias frequências, resultante da elevada selectividade dos dipolos é fortemente minorada com a utilização de métodos de alargamento de banda de funcionamento ,a utilização de multi-feixe e a utilização de diplexers e triplexers permitindo a utilização simultânea de uma cortina por vários emissores. O número de cortinas necessário para determinado serviço é assim fortemente reduzido.

As antenas rômbicas de onda progressiva são também utilizadas em radiodifusão de onda curta, mas raramente como antenas principais. São antenas económicas, se bem que requeiram grandes áreas de terreno. A sua largura de banda, no que se refere a impedância, é elevada. Contudo, no que se refere ao diagrama de radiação tem vários inconvenientes: o diagrama de radiação varia bastante com a frequência, os diagramas de radiação vertical e horizontal são interdependentes, o ganho elevado é obtido à custa do estreitamento do lobo principal, com proliferação de lobos secundários. A utilização de agregados de antenas rômbicas (rômbicas sobrepostas, rômbicas entrelaçadas, rômbicas de Laport, etc.) permite melhorar um pouco a situação, mas não suficientemente. A largura de banda das antenas rômbicas, no que se refere ao diagrama de radiação, é pequena e o estudo criterioso do circuito de propagação exige normalmente a utilização de várias antenas rômbicas para assegurar em todo o tempo uma boa qualidade de serviço.

A característica de banda larga das antenas log-periódicas, tanto no que se refere à impedância como ao diagrama de radiação, torna desejável a sua aplicação em radiodifusão de onda curta. Contudo, a sua baixa capacidade de potência e o seu baixo ganho têm até agora, limitado a sua utilização neste serviço. O desenvolvimento recente de radiadores de Q baixo, permitindo reduzir a largura de feixe horizontal e aumentar a capacidade de potência, vai certamente incrementar a sua utilização: diminuídas as desvantagens de ordem técnica em relação à cortina, as vantagens de ordem económica vão em muito mais casos decidir a seu favor.

As antenas de emissão, utilizadas em radiodifusão de FM, são geralmente de polarização horizontal, com diagrama de radiação horizontal circular.

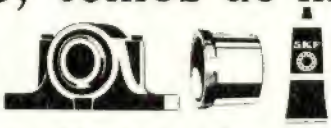
São normalmente constituídas por pilhas verticais de quadros rectangulares ou circulares, de «trevos» («clover-leaf») ou de antenas «V». A partir de 1963 começaram a utilizar-se antenas de dupla pola-

SKF

A SKF não tem apenas rolamentos de esferas e de rolos .

Temos também rolamentos de agulhas

rótulas e embutes .

Evidentemente, temos do mesmo modo toda a espécie de acessórios  para rolamentos.

Além disso a SKF fabrica muitos outros produtos de qualidade.

Rodas e carretos cónicos, por exemplo

Fusos roscados de rolamento de alta precisão que transformam o movimento de rotação em linear.

Fabricamos também machos cassonetes

e brocas .

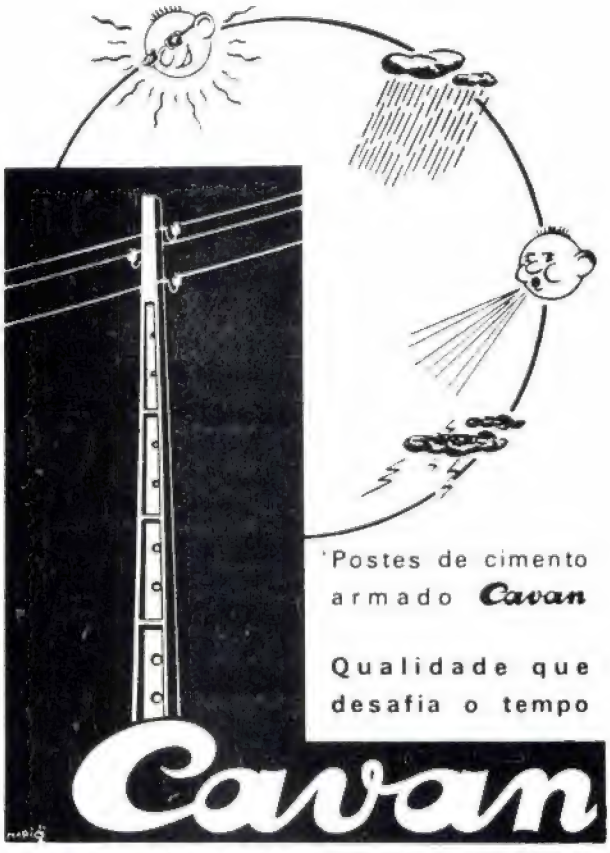
O mesmo se passa com pontos rotativos .

E muitos sabem que também temos um bom Serviço Técnico.

SOCIEDADE SKF LIMITADA

LISBOA - PRAÇA DA ALEGRIA, 66-A
TELEF.: 362301 - TELEGR.: ESKAEF - TELEX: 12156

PORTO - RUA DELFIM FERREIRA, 604
TELEF.: 692054 - TELEGR.: ESKAEF



Av. Visconde Valmor, 76-1.º - Tel. 766014 (7 linhas) Lisboa-1

ESPECIALISTA DESDE 1947

sopecate

ESTUDOS
GEOTÉCNICOS

FUNDAÇÕES
ESPECIAIS

RUA DO ARSENAL, 146-2º
TELFS. 320208 · 360437 · 364010
LISBOA

Já pensou...

... que o seu anúncio
é muito eficaz se for
publicado na revista que
os seus clientes lêem?
Os milhares de exemplares
de cada número da nossa revista
são lidos por engenheiros
e técnicos, por pessoas ligadas
à indústria, à investigação, ao
ensino, pelos seus clientes,
em suma. Consulte-nos

técnica

REVISTA DE
ENGENHARIA

Avenida Rovisco Pais - Lisboa 1 - Telef. 88 93 23

MEXIA HEITOR E BRASÃO FARINHA

TABELAS
PARA O
CÁLCULO
DO BETÃO
ARMADO

TECNICA
revista da associação dos estudantes do Instituto Superior Técnico
LISBOA

rização para melhoria da recepção por meio de receptores portáteis e de automóveis.

2.1.2.5 — Estúdios e STL

Paralelamente ao desenvolvimento dos sistemas de radiodifusão deu-se o desenvolvimento das infraestruturas de produção de programas: o estúdio deixou de ser uma sala qualquer para ter tratamento acústico adequado de modo a isolá-la de ruídos, a minimizar a distorção e conseguir o tempo de reverberação desejado. O ajuste acústico dos estúdios, a localização dos artistas, a escolha e localização dos microfones, passa a constituir um campo altamente especializado, dando origem ao aparecimento de uma nova categoria de peritos, os produtores.

A gravação de som teve influência preponderante na realização dos programas, principalmente depois do aperfeiçoamento da gravação magnética, tornando impossível distingir o programa gravado do programa directo: os programas puderam ser transmitidos em diferido, libertando os artistas da obrigação de estar presentes na altura da emissão, dando-lhes assim todas as facilidades para uma coordenação com as suas outras actividades; tornou-se possível a montagem de programas e a sua transmissão em rede («network»).

Métodos eficazes de comutação de áudio, realizada na altura própria com «deixas» adequadas e sistemas computerizados de estabelecimento da sequência desejada têm permitido uma certa automatização na transmissão de programas.

Os emissores estão normalmente distantes dos centros de produção e são necessárias ligações estúdio-emissor (STL) de boa qualidade: são utilizados para este fim «pares áudio» providos de igualização nos cabos telefónicos subterrâneos e feixes hertzianos.

2.1.2.6 — Situação portuguesa. Perspectivas

— Onda média

O serviço oficial de radiodifusão em onda média utiliza presentemente 31 emissores com potências de 1 a 135 kW para assegurar a transmissão de três programas com a duração total de 56 horas diárias. As antenas utilizadas são, de uma maneira geral, monopolos verticais de 60 ou 90 metros. A antena anti-fading de Castanheira do Ribatejo constitui uma excepção.

A cobertura do País ,apesar de bastante satisfatória no que se refere ao primeiro programa, necessita de ser melhorada. Face ao congestionamento actual da banda de onda média e tendo em conta os princípios que norteiam, no momento presente, o seu planeamento, essa melhoria pode ser obtida com a utilização judiciosa de antenas de elevada eficácia (antenas especiais «anti-fading» antenas direccionais, antenas de transmissão ortogonal, antenas de polarização horizontal, etc.) e com o estabelecimento de várias redes de emissores sincronizados (os sintetizadores de frequência têm já normalmente uma estabilidade de 2 partes em 10^{10} num período de 24 horas, permitindo estações emissoras sem assistência que, com controlo apenas de três em três meses, têm um desvio de frequência inferior a 0,02 Hz e necessitam, portanto, de uma relação de protecção de apenas 4 dB).

A adopção, esperada para breve, de um afastamento constante entre canais vai, logo que o seu valor seja fixado, originar uma redistribuição de frequências.

A modulação com banda lateral única está a ser objecto de estudo; é grande o seu interesse pois que permite, com o mesmo afastamento entre canais, uma maior largura de banda de áudio, com a mesma largura de banda de áudio um maior número de canais ou ainda uma combinação destas duas vantagens.

A sua futura adopção parece depender fortemente da possibilidade de definir uma sequência de transição para esse novo sistema que concilie os interesses dos actuais possuidores de receptores de BLD com os da indústria.

O sistema de modulação com banda lateral dupla manter-se-á certamente por bastante tempo ainda, com inovação tendentes a aumentar o rendimento de conversão de potência e a reduzir o custo de exploração. A de maior interesse presentemente é o PDM (modular por duração de impulso), método de modulação na placa em alto nível que, sem sacrifício da simplicidade nem da fiabilidade, traz grandes vantagens: maior rendimento total, menor número de válvulas de potência, ausência de transformador e reactor de modulação, sobretensões transitórias de valor muito baixo, menor distorção, desvio de portadora praticamente nulo. É natural que emissores deste tipo se incluam nas novas unidades a incorporar na rede de OM.

A relação mais conveniente entre os níveis de voz e de música constitui um problema que está a ser estudado com muito interesse; apesar de o seu carácter subjectivo não permitir nenhuma solução que seja considerada satisfatória por todos, está-se de acordo em que a presente situação é susceptível de melhoria e é natural que uma ou várias das sugestões que têm sido propostas venham a ser adoptadas (sugestões que vão desde a utilização de aparelhos especiais de medida de nível de áudio nos estúdios até à possibilidade de controlo nos receptores, ao gosto dos ouvintes, não só do nível como da dinâmica de reprodução dos dois tipos de som).

— Onda curta

O serviço oficial de radiodifusão em onda curta utiliza presentemente 7 emissores de 100 kW. As antenas utilizadas são cortinas e rômbicas, além de uma antena log-periódica.

O serviço de radiodifusão para áreas distantes depende quase exclusivamente da onda curta. Apesar da radiodifusão por satélite apresentar resultados técnicos animadores e ser já economicamente aces-

sível para vários países, razões políticas muito provavelmente não permitirão a sua utilização para a radiodifusão internacional num futuro próximo. A onda média só em situações especiais é utilizada com sucesso neste tipo de serviço.

Há uma perspectiva de melhoria da situação nesta banda, tanto no que se refere a interferência no mesmo canal como a interferência entre canais adjacentes. Uma utilização cada vez maior das ligações por satélite em substituição das ligações em onda curta para comunicações ponto a ponto, e ainda a transferência para outras bandas, por razões de fiabilidade e de segurança, de algumas comunicações aeronáuticas em fonia, permite encarar a atribuição de uma faixa menor da banda ao serviço de comunicações ponto a ponto e, consequentemente, uma faixa maior ao serviço de radiodifusão.

Para descongestionamento imediato da banda utilizada em radiodifusão, a UIT permite já na sua regra 115 (artigo 3) o uso para radiodifusão de frequências fora da banda actualmente atribuída a esse serviço, desde que desse uso não resulte nenhuma interferência prejudicial. Administrações de vários países estão já a fazer uso dessa faculdade, utilizando para radiodifusão frequências na banda para comunicações fixas em que há preponderância das transmissões em modulação de frequência que não são prejudicadas pela radiodifusão em modulação de amplitude.

Prevê-se que na próxima reunião da Conferência Administrativa Mundial de Rádio (WARC), em 1979, sejam transferidos para o serviço de radiodifusão 2 MHz da banda para comunicações fixas e 0,15 MHz da banda para comunicações móveis. Isto significa que, mesmo aumentando a largura de banda áudio para 7 ou 7,5 kHz, há ainda um aumento de cerca de 50 % no número de canais disponíveis.

A política de estreitamento dos laços com as comunidades portuguesas dispersas pelo mundo, em boa hora iniciada, passa pelo aumento do número e horas de programas radiofónicos a elas dirigidos. Consequentemente, haverá que melhorar o sistema de radiodifusão em onda curta com mais emissores e emissores de maior potência (possivelmente com PDM) e com antenas adequadas, na sua maior parte do tipo «cortina», que para a radiodifusão a grande distância é ainda a antena mais eficaz, permitindo quando multi-banda e multi-feixe (tanto no plano horizontal como no vertical) soluções atraentes também sob o ponto de vista económico.

— Modulação de frequência

O serviço oficial de radiodifusão em FM no nosso País utiliza presenteemnte 37 emissores com potências aparentes de 0,2 a 22 kW para assegurar a transmissão de três programas com a duração total de 53 horas diárias, das quais duas de programa estereofónico. As antenas utilizadas são de polarização horizontal.

Como actualmente está estruturado este serviço assegura verdadeiramente uma cobertura complementar da do serviço em onda média.

O incremento do número de instalações domésticas de alta fidelidade tem como consequência uma maior exigência de qualidade por parte dos ouvintes.

Para a satisfazer, a cobertura em FM deverá ser melhorada, o número de horas de programa estereofónico e o número de estações emissoras com emissão estereofónica, actualmente muito reduzido, deverão ser aumentados. É assim de prever a instalação de novas estações emissoras de FM, sem assistência, para emissão estereofónica, e a conversão gradual para emissão estereofónica das actuais estações emissoras de monofonia.

Para melhorar a recepção nos veículos automóveis (cresce o número de receptores de automóvel com FM) e nos receptores de FM portáteis é natural que se instalem antenas de polarização dupla.

A qualidade das ligações estúdio-emissor para transmissão de som pode também vir a ser melhorada utilizando a transmissão por PCM (modulação por impulsos codificados) com compressão/expansão para a qual se espera para breve uma normalização. Com este sistema obtém-se uma curva de resposta de 0,2 dB entre 40 Hz e 14,5 kHz e uma relação sinal/ruído da ordem dos 70 dB.

2.1.2.7 — Participação nacional

A participação nacional na tarefa de melhoria do serviço de radiodifusão será primeiramente no projecto, montagem e afinação dos sistemas.

No campo dos emissores, apesar de há alguns anos ter havido experiências interessantes no fabrico de emissores de onda média de pequena potência, não se afigura economicamente viável o fabrico, em Portugal, deste tipo de equipamento especialmente com os níveis elevados de potência necessários. Os elevados investimentos de desenvolvimento exigidos requerem para a sua amortização a produção de séries de número apreciável de unidades, o que mesmo a nível mundial tem vindo a reduzir drasticamente o número de fabricantes de emissores de alta potência.

No campo das antenas existe uma efectiva capacidade de projecto, fabrico, instalação e afinação de antenas dos tipos mais actualizados e com as mais elevadas capacidades de potência, assente em mais de vinte anos de experiência, o que permite contemplar a inclusão nos futuros sistemas de antenas inteiramente nacionais.

É possível também uma certa participação nacional no equipamento de bastidor, com o fabrico de mesas de comando, algum equipamento de áudio, etc.

(Continua)

NOTICIÁRIO

★ I FESTIVAL PELA VIDA E CONTRA O NUCLEAR

O Prof. Delgado Domingos afirmou, no «I Festival pela vida e contra o nuclear», que decorre nas Caldas da Rainha, que «a construção da central nuclear em Ferrel não só não resolve os problemas de energia eléctrica no país como envolve riscos que podem ir até à devastação de uma área de cem quilómetros, em caso de acidente grave».

«A luta que neste momento se trava contra o nuclear é uma luta vital», acrescentou Delgado Domingos, salientando que a adopção do nuclear implica a escolha de um sistema de fontes de energia centralizado que custará ao país duas vezes e meia mais que um sistema descentralizado.

As declarações do Prof. Delgado Domingos abriram uma série de intervenções integradas no colóquio-debate com que se encerrou o primeiro dia do festival, organizado por seis grupos ecológicos e com o patrocínio da «Gazeta das Caldas». Uma mensagem do secretário de Estado do Ambiente em exercício foi lida no início do colóquio.

Por sua vez, António José Saraiva acusou a estrutura centralizadora do Estado moderno de estar na origem do declínio da qualidade de vida nas sociedades de consumo e produção. Afirmaria também que, para além das implicações económicas, administrativas e políticas da opção nuclear, «o problema fundamental que se nos põe é de ordem moral: precisamos de saber qual o tipo de sociedade em que queremos viver e se estamos dispostos a abdicar de alguns dos objectos de consumo que invadem o quotidiano, em troca de maior felicidade e alegria».

A sessão, efectuada na Casa de Cultura das Caldas da Rainha, teve a assistência de centenas de pessoas. Durante o dia, realizações simultâneas decorreram no Parque Municipal, com projecções de filmes e «slides», exposições documentais e bancas de propaganda ecológica.

A sessão da tarde foi ocupada com intervenções sobre pacifismo e a luta contra a poluição do rio Alviela, ocupando grande número de participantes.

O debate prossegue hoje, estando programada uma deslocação a Ferrel, local onde se projecta a construção da primeira central nuclear portuguesa, encerrando à tarde, na Casa da Cultura, com a actuação de grupos de teatro e canto livre.

(Informação de «O Primeiro de Janeiro», de 23-1-78)

★ METROPOLITANO DE LISBOA

«O metropolitano passa por uma situação de saturação que só pode ser minorada com a entrada em serviço de novo material circulante já encomendado e que aumentará em 70 por cento o parque actual, constituído por 80 carruagens», declarou à Anop um técnico do Gabinete de Planeamento daquela empresa pública.

Trata-se de uma encomenda de 56 carruagens, das quais 16 serão adquiridas à República Federal da Alemanha e 40 construídas pela empresa portuguesa Sorefame.

A aquisição das carruagens alemãs, cuja entrada ao serviço está prevista ainda para o primeiro semestre do ano corrente, teve em conta a urgência em minorar as necessidades do metropolitano e as boas condições de compra conseguidas, já que, no que se refere a prazos de entrega, as carruagens encomendadas à Sorefame só começarão a funcionar em 1979.

Com vista à melhoria dos serviços e à programada extensão da rede, vai ser construída a linha Marquês de Pombal-Alcântara, logo que autorizada pelo Governo e a concluir no prazo de quatro anos. A obra deverá orçar em um milhão e 900 mil contos.

De acordo com os inquéritos e contagens de tráfego efectuados o ano passado no metropolitano, aquele meio de transporte serviu 95 milhões de passageiros, batendo assim o recorde de 86 milhões verificados em 1975.

Entretanto, ficam concluídas no corrente ano as obras de ampliação das estações dos Anjos, Avenida e Picoas o que marcará o início de trabalhos semelhantes nas do Campo Pequeno e Socorro, as quais passarão também a ter escadas rolantes, e na do Parque, esta já dotada desse melhoramento.

Na hora de ponta (das 18 às 19 horas) o metropolitano transporta 38 mil passageiros, sendo ao longo do dia as estações mais solicitadas as do Rossio (60 mil passageiros), Rotunda (35 000) e Restauradores (29 000), o que representa 37 por cento do movimento geral das vinte estações. As estações de menor movimento são as do Parque, S. Sebastião e Palhavã.

«Em comparação com indicadores internacionais — sublinhou o citado técnico — pode afirmar-se que o Metropolitano de Lisboa apresenta valores de produção excepcionalmente elevados, em que o movimento da estação do Rossio apenas é ultrapassado por um número muito restrito de estações de toda a Europa e é superior ao de cidades tão importantes como Milão e Barcelona.»

(Informação do «Diário Popular», de 26-1-1978)

★ DEBATE NA «SEDES» SOBRE CIÊNCIA E PROGRESSO

O papel da ciência e da tecnologia nos mecanismos sociais de prevenção e de melhoria da qualidade de vida, a curto e médio prazo, constituiu o ponto principal de um debate promovido pela Associação para o Desenvolvimento Económico e Social — Sedes.

À partida, este debate tinha como intenção promover um tratamento interdisciplinar do tema do progresso e da qualidade de vida, embora a diversidade disciplinar dos participantes não permitisse muitos momentos de verdadeiro diálogo, mas sim uma sucessão de abordagens paralelas do tema.

Esteve a presidir à reunião o ex-ministro Rui Vilar, e apresentaram breves comunicações António José Saraiva, professor de literatura na Universidade Nova de Lisboa e director-fundador da revista «Raiz e Utopia», Acácio Menano, médico e investigador nos domínios da biologia, Francisco Correia Guedes, economista, Fernando Sacramento, engenheiro que trabalhou no campo do planeamento e controle de gestão na metalo-mecânica, e Delgado Domingo, professor na Universidade Técnica de Lisboa.

O prof. Saraiva retomou os pontos principais duma outra sua comunicação, no mesmo local, há alguns meses atrás, entre os quais se destaca o papel da tecnologia e da economia na sociedade moderna. Em seu entender, as técnicas são hoje comandadas pelos mecanismos do mercado, trabalhando em função da possibilidade de gerar lucros e não da utilidade social. O capital procura automaticamente os pontos de aplicação mais lucrativos. Por outro lado ,os técnicos não tiveram poder de decisão até há dois séculos, trabalhando de acordo com as decisões de outras instâncias; nos últimos duzentos anos, deu-se, porém, uma alteração significativa, a partir do momento em que uma nova técnica, a economia, passou a tomar o comando das decisões. Em conclusão, António José Saraiva considerou que sem a técnica não se podem resolver os principais problemas de hoje, mas é necessário que ela se aplique em prol da melhoria da qualidade de vida e não da produção de lucro.

A isto respondeu Acácio Menano apontando que hoje há cada vez mais tecnologia que não se aplica na produção de capital e que põe o problema da sobrevivência da espécie, a partir da crescente deficiência da energia.

Fernando Sacramento, por sua vez, referiu a diversidade de ritmos de vida nos homens do mundo rural e do mundo urbano, e salientou as implicações desse facto nos domínios da percepção, que deixa de ser intuitiva e se torna cada vez mais lógico-matemática.

Finalmente, Delgado Domingo mostrou-se pessimista quanto à possibilidade de se evitar um colapso civilizacional, dada a cada vez maior exportação de informação científica do mundo ocidental para os países subdesenvolvidos, que os leva a adoptarem os modelos de desenvolvimento daqueles países.

(Informação do «Diário de Notícias» de 25-3-78)

★ PROJECTO ECOLÓGICO DO ESTUÁRIO DO TEJO

Tendo por objectivo principal a finalização do projecto de caracterização ecológica do estuário do Tejo, altos funcionários das Nações Unidas e um grupo de técnicos portugueses estiveram reunidos nas instalações da Comissão Nacional do Ambiente (CNA).

O referido projecto permitirá formalizar um acordo sobre tal matéria entre o Governo Português e os Programas das Nações Unidas para o Desenvolvimento e Ambiente.

Nos trabalhos participaram Jean-Claude Petitpierre, director-adjunto do «Bureau» para a Europa daquele departamento das Nações Unidas; Hans Page, também do mesmo serviço; Daniel Havet e José da Costa, da UNESCO; S. Venena, da FAO; Alexander Gilad, da Organização Mundial de Saúde, e M. Palma, do Ministério do Ambiente de Ontário (Canadá).

A representação portuguesa esteve a cargo de Correia da Cunha e Santos Mota, da CNA; de Maria Manuela de Almeida, directora do Gabinete para a Cooperação Económica Externa; e de alguns responsáveis pela execução do projecto em áreas sectoriais.

No decurso dos trabalhos, aquele grupo visitou o estuário do Tejo e a embarcação cedida para pesquisas pela Administração-Geral do Porto de Lisboa, tendo observado ainda o modelo físico do estuário existente no Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

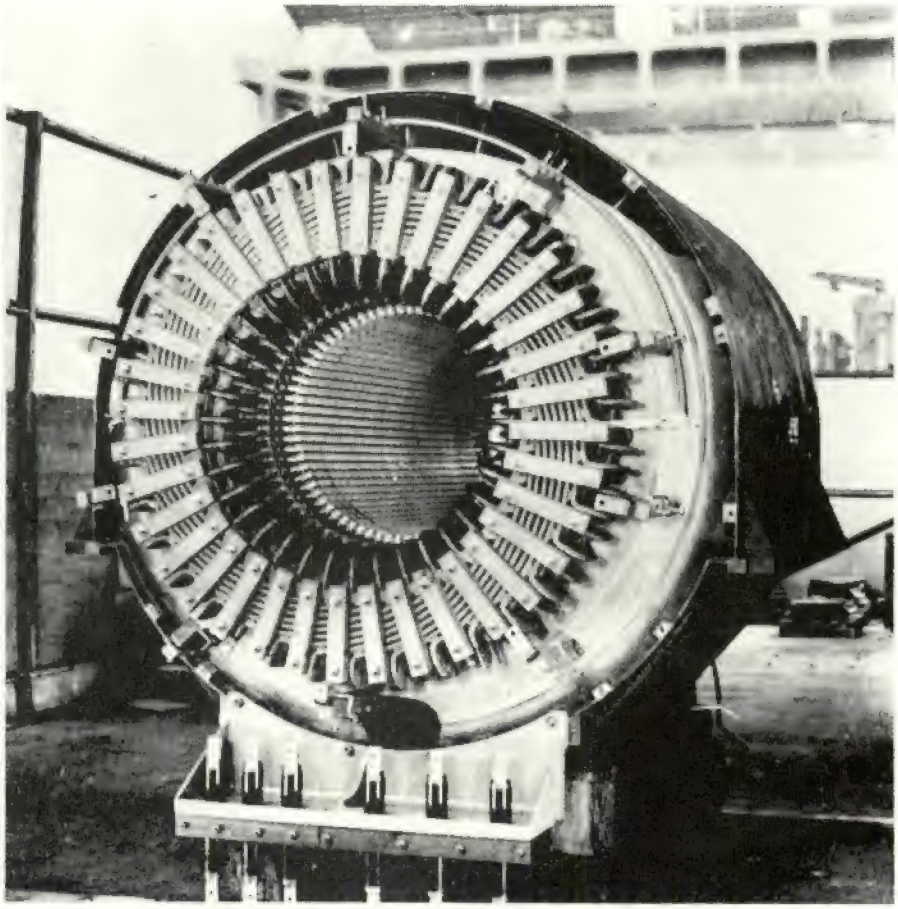
A complexidade do estuário do Tejo e o evidente grau de degradação da qualidade das suas águas acabaram por impor, após uma série de estudos levados a cabo durante alguns anos, a sua gestão através de acções devidamente coordenadas e programadas.

Assim,, com vista à elaboração de um modelo de previsão que possa servir aquela finalidade, tem estado a decorrer uma campanha de caracterização global daquele estuário, orientada por um grupo interdepartamental coordenado pela CNA.

(Informação do «Diário de Notícias» de 20-2-78)

(Continua na pág. 483)

MAGUE



"Montagem em fábrica do alternador de 15MW para a Central térmica do MAPUTO-MOÇAMBIQUE".

PONTES ROLANTES, GUINDASTES E APAR. DE ELEVAÇÃO ESPECIAIS	*Projecto e fabrico*
TURBINAS HIDRÁULICAS	*Fabrico segundo licença de A. C. M. de Vevey, S. A.*
TURBINAS A VAPOR	*Fabrico segundo licença de Brown Boveri, Cie.*
CALDEIRAS A VAPOR	*Projecto e fabrico segundo licença de Foster Wheeler, Co.*
EQUIPAMENTOS E INSTALAÇÕES INDUSTRIAIS	

CONSTRUÇÕES METALOMECANICAS MAGUE S.A.R.L

ALVERCA DO RIBATEJO — PORTUGAL

divisórias
pavimentos
G.T.R. PARA
CRIAR NOVOS
AMBIENTES
Um novo espaço à sua medida, rapidamente, a seu gosto, de acordo com as suas necessidades.
G.T.R. é material modulado de alta qualidade técnica:
Pavimentos para computadores, tectos falsos e divisórias patenteadas Cloisall.
G.T.R. a resposta exacta aos seus problemas de espaço.
G.T.R. é decoração, acabamento perfeito, longa vida, versatilidade, rapidez de montagem.
G.T.R. – Gabinete Técnico de Revestimentos garante a produção e entrega dos seus materiais.
Somos G.T.R. – Gabinete Técnico de Revestimentos, Lda.
Consulte-nos. Estamos na Rua Rodrigo da Fonseca, 52-1.º E.
Lisboa 1 – telef. 535217 - 561088 - 575466
G.T.R. – Um novo espaço à sua medida!
CLOISALL
gabinete tecnico de revestimentos, lda.

NÚMERO 448 MARÇO DE 1978 ANO LIII VOLUME XXXIX

C. D. U. 69.002:72.011.1

Tecnologias da construção de habitação

JOSÉ A. TEIXEIRA TRIGO (1)

RESUMO

Este relato integra-se no Tema 2 — «Exigências funcionais e problemas construtivos para a habitação social» e procura tratar os assuntos relativos a «Processos construtivos para a habitação; construção industrializada e prefabricada; equipamentos auxiliares da construção».

Após a apresentação duma panorâmica geral da tecnologia da construção de habitação a nível europeu e a nível nacional, faz-se uma análise sistemática dos principais processos e sistemas de construção que vêm sendo utilizados, insistindo-se no processo de industrialização em curso no sector. No decorrer da exposição, são referidas e comentadas as diversas comunicações apresentadas, seis das quais se enquadram claramente no âmbito do relato por tratarem apenas de processos tecnológicos e das suas implicações no projecto, e duas outras abordando problemas de qualidade com eles conexos.

O trabalho apoia-se nas comunicações apresentadas ao Congresso, na vasta bibliografia disponível, da qual se salienta apenas a mais significativa, e ainda na experiência pessoal do seu autor adquirida na condução da Divisão de Processos de Construção, do L.N.E.C., e na regência das cadeiras de Edificações e de Processos Gerais de Construção, do I.S.T.

Termina-se com um conjunto de questões que se espera possam servir de base a uma reflexão comum e motivar a generalização do debate.

SUMMARY

This report falls within Theme 2 — «Function requirements and construction problems regarding social housing», and deals with matters such as «Housing construction methods; industrialized and prefabricated building construction; site-work equipments».

After giving an overall picture of building construction methods on both a national and a European level, the author goes on to make a systematic analysis of the principal methods and techniques used in building construction, insisting on the industrialization process now under way in this sector. The different papers presented are mentioned and commented on. Six of them fall clearly within the scope of this report since they concern only technical methods and their implications in the project, and two others deal with problems of quality related with them.

The work is based on the papers presented at the Congress, on the vast bibliography available, of which only the most important is mentioned, and on the author's personal experience while head of the Building Construction Methods Division of L. N. E. C. and while holder of the chairs of Building Construction and General Construction Methods at I. S. T.

Finally, a set of questions is put, which it is hoped will serve as the basis of a common reflexion and bring about the generalization of the debate.

1 — INTRODUÇÃO

Em todo o mundo se põe o problema da construção de um grande número de edifícios com a maior economia de recursos, quer se trate de habitações, de equipamento social — escolas, hospitais, etc. — ou ainda de instalações para a indústria e o comércio. O incremento demográfico, a aceleração do processo de urbanização com a consequente movimentação de grandes massas populacionais e a expansão de novos serviços colectivos para apoio das populações e das actividades sociais e económicas, obrigam as responsáveis pelo desenvolvimento da construção a procurar as soluções que conduzam aos maiores índices de rendibilidade social. É sobretudo nos países mais atrasados e nos que se encontram em vias de desenvolvimento, que aqueles fenómenos apresentam maior expressão e, em consequência, é

(1) Especialista e Chefe da Divisão de Processos de Construção do Laboratório Nacional de Engenharia Civil; Professor do Instituto Superior Técnico.

Relato 2 do Tema 2 «Exigências funcionais e problemas construtivos para a habitação social». Congresso da Ordem dos Engenheiros, Lisboa, Novembro 1977.

aí que o problema da economia de recursos se põe com maior acuidade, até porque tais recursos são mais limitados.

Também em Portugal se põe aquele problema, no nosso caso agravado pelo regresso de grandes massas populacionais emigradas. As mais recentes estimativas relativas às carências de habitação e aos recursos disponíveis para as absorver mostram que há ainda um longo caminho a percorrer e uma nova indústria de construção a criar para que, em prazos razoáveis, se possa antever uma solução para o problema.

A situação actual entre nós pode resumir-se da seguinte forma: necessidade de aumentar a cadência de construção de habitações para valores da ordem de 80 000 a 100 000 fogos anuais; uma indústria de construção com possibilidade de satisfazer cerca de metade daqueles valores. Sendo assim, aumentar os programas de construção de habitação, sem acréscimo dos meios técnicos disponíveis, irá apenas subir o custo das construções acabadas, sem aumento significativo do seu número.

Compete aos técnicos, perante os programas quantitativos estabelecidos e perante uma definição dos níveis de qualidade a exigir às construções — através das exigências funcionais e das regras de qualidade mínimas que, em cada época, devem traduzir o consenso da sociedade sobre o que é a qualidade mínima da habitação —, optimizar o emprego dos recursos disponíveis: volume de materiais, equipamentos e instalações fabris, recursos financeiros e mão-de-obra. Esta atitude imporá necessariamente ao sector da construção uma dinâmica que deverá conduzir à sua crescente industrialização, processo este que, por sua vez, originará a introdução de novos materiais e novos meios de equipamento e uma mudança nos processos de construção utilizados.

Esta evolução é feita à medida das possibilidades do meio técnico em que a indústria de construção se insere, pois que este sector tende a adaptar as metodologias e as técnicas que fazem o progresso dos outros sectores industriais, tecnologicamente mais avançados e com maior dinâmica de inovação. Um aspecto particularmente importante é o que se refere às condições sociais e de trabalho da mão-de-obra afecta ao sector. O pessoal da indústria de construção procura naturalmente obter condições de trabalho equivalentes às das restantes indústrias e, no caso de condições mais desfavoráveis, a correspondente contrapartida de salários e de benefícios sociais. O crescimento dos encargos com a mão-de-obra da construção vem-se revelando um factor importante no processo de industrialização.

O autor teve oportunidade de tratar, noutras ocasiões [19], [21], os temas a que se refere este relato. Numa das comunicações apresentadas [27], aborda também alguns aspectos que aqui são novamente retomados. Não será portanto de surpreender que não se consiga ser inteiramente original e se incorra em alguma repetição relativamente a trabalhos anteriores. Na realidade, este relato constitui em parte uma actualização desses trabalhos, na qual se têm em conta as comunicações apresentadas ao Congresso. Nalguns aspectos, particularmente no que se refere à sistematização das tecnologias de construção, apresenta-se uma exposição inteiramente nova, a fim de se atingirem os objectivos pretendidos com este relato.

2 — A INDUSTRIALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO

2.1 — Conceito de industrialização da construção

Dum ponto de vista económico ,a actividade de construção é sempre uma actividade industrial, qualquer que seja o modo como se processa. É porém habitual, dum ponto de vista tecnológico, opôr o conceito de construção industrializada ao de construção tradicional.

Não existe unanimidade, entre os vários autores que têm estudado este tema, quanto aos elementos que caracterizam a construção industrializada. Enquanto alguns autores acentuam a substituição do fabrico manual dos objectos pelo seu fabrico mecânico, a organização do trabalho e a repetição das operações de fabrico, com a produção em grandes séries e as operações em cadeia, outros dão primazia à transferência das operações de construção para instalações fixas, acabando por identificar industrialização da construção com prefabricação.

Já noutras ocasiões [19], [21] se teve oportunidade de reflectir sobre esta questão, tendo-se chegado à conclusão de que, mais do que tentar uma definição de industrialização da construção, interessa analisar as suas principais características:

1 — Definição clara dos objectivos, a partir do conhecimento das necessidades e dos desejos dos utilizadores; esta definição deve ser feita a nível global e ao nível das diversas entidades promotoras da construção;

2 — Preparação prévia do trabalho, desde a programação global, passando pela normalização das tarefas da construção;

3 — Execução em instalações fixas, por uma ou mais indústrias complementares, de grande parte dos elementos da construção;

4 — Utilização predominante de máquinas e de energia mecânica em substituição da mão-de-obra, quer nas operações realizadas em instalações fixas, quer nas de estaleiro;

5 — Especialização e repetição das operações de fabrico e de montagem.

A análise destas características mostra muito claramente qual é a posição da prefabricação no processo de industrialização, com o qual não deve ser confundida. Embora a prefabricação constitua uma manifestação típica e muito importante da industrialização, esta corresponde a uma noção muito mais vasta que incide sobre a totalidade do processo

de construção, desde a preparação do plano até às últimas operações de acabamento.

O processo de industrialização da construção pode resumir-se na intervenção simultânea das acções de:

racionalização
mecanização
prefabricação.

Por racionalização entende-se todo o conjunto de acções tendentes ao aumento do rendimento do sector em conjunto e de cada uma das tarefas a realizar em particular. Racionalizar é aplicar, em matéria de organização, de planificação e de verificação, as técnicas adequadas à melhoria da qualidade e ao acréscimo da produtividade, fazendo o melhor uso dos meios humanos, dos materiais de construção e do equipamento e instalações.

Podem citar-se, como exemplos de racionalização, as actividades de regulamentação da construção, de normalização de materiais e elementos de construção e de níveis de qualidade, de coordenação e organização de projectos, de organização de estaleiros, de racionalização de cofragens e armaduras, de aperfeiçoamento das ferramentas manuais, das máquinas ferramentas e de outros equipamentos, de selecção de materiais, de planeamento do trabalho em unidades fixas e nos estaleiros. Grande parte destas acções enquadra-se, na organização do Congresso, no âmbito de outros relatos.

Quanto às acções de mecanização, trata-se fundamentalmente da substituição do homem pela máquina, da utilização da energia mecânica em vez da humana, como meio de melhorar não só a produtividade mas também a qualidade da construção.

No âmbito da prefabricação, consideram-se as técnicas de construção que se baseiam na produção de elementos de construção fora dos seus locais definitivos, no estaleiro da obra ou fora dele, os quais são posteriormente ligados e montados na obra. Habitualmente, considera-se prefabricação apenas a produção de elementos de construção que, podendo ser executados em obra segundo técnicas válidas, são fabricados fora do seu local definitivo.

Já se fez notar que a prefabricação, só por si, não significa industrialização. Pode-se até afirmar que a prefabricação, sem a introdução das outras acções, particularmente a racionalização, pouco contribui para a industrialização.

Algumas comunicações referem-se a estes assuntos.

Gomes da Silva [29] chama a atenção para a existência de outras tecnologias de industrialização da construção, para além da prefabricação pesada total com a qual a industrialização é, por vezes, confundida.

Rodrigues dos Santos, na sua comunicação sobre edifícios de estrutura laminar [33], procura integrar os processos de construção deste tipo de edifícios no contexto da industrialização da construção. Este autor insiste muito claramente no conjunto de acções tendentes à industrialização, particularmente nas acções de racionalização e na adequação da estrutura das empresas às novas tecnologias.

Na sua comunicação sobre elementos prefabricados para a execução de pavimentos e de vigas, Veiga Lagoa e Figueiredo Dias [34] referem também os diversos tipos de acção que permitem obter a industrialização da construção. Embora estes autores insistam principalmente nos aspectos ligados à mecanização e prefabricação, não deixam no entanto de acentuar algumas acções que se enquadram no âmbito da racionalização. Assim referem o aproveitamento racional dos recursos disponíveis — mão-de-obra, materiais e equipamento —, e ainda a racionalização das tarefas de execução, através da sua mecanização e repetição.

Pinheiro Carrilho e Dominguez Cuña [30], a propósito de um processo de execução de estruturas reticuladas a partir de componentes prefabricados, mostram, para o caso duma solução de prefabricação parcial, a importância que têm a normalização de dimensões e a coordenação dimensional modular.

2.2 — Evolução da construção na Europa

Foi sobretudo após a segunda guerra mundial que a construção de edifícios na Europa iniciou decididamente a utilização de novas tecnologias de construção, a caminho da industrialização. A carência de recursos e a necessidade de se construir a um ritmo até aí desconhecido, levaram, inicialmente, ao desenvolvimento de sistemas de prefabricação total por painéis pesados. Utilizados de início nos países do Leste e em França, depressa se generalizaram a quase toda a Europa e, posteriormente, a outros continentes.

Paralelamente desenvolveram-se numerosas soluções de prefabricação parcial — elementos para pavimentos, estruturas reticuladas, painéis para divisórias, painéis de fachada, lanços de escada, etc. —, que constituem em geral produções de catálogo.

Entretanto, a construção mais tradicional procura industrializar-se a partir da sua própria estrutura, integrando não só aqueles elementos de prefabricação parcial, mas recorrendo também a uma maior mecanização do estaleiro, à introdução das técnicas de organização e métodos nas suas obras, à industrialização de cofragens e armaduras, e o todo um conjunto de acções de racionalização do sector através da normalização e tipificação.

Destaca-se, pela importância que está a assumir em muitos países, a tecnologia baseada na estrutura laminar de betão armado moldado em obra, a que faz referência Gomes da Silva [29] no seu trabalho e que Rodrigues dos Santos desenvolve na sua comunicação [33]. Trata-se da tecnologia designada em francês por «béton banché».

Embora com menos expressão no volume da construção, desenvolvem-se ainda as soluções de

prefabricação em obra segundo os processos «lifting», a prefabricação de casas leves e, mais recentemente, a prefabricação de elementos tridimensionais pesados.

Todas estas técnicas serão analisadas mais em pormenor nos capítulos 5 a 9 deste relato. Entretanto apresentam-se e comentam-se alguns dados estatísticos relativos a diferentes países europeus. Estes valores são obtidos das estatísticas da O.N.U. [3] actualizadas até 1975.

Na Grã-Bretanha, verifica-se, paradoxalmente, uma redução, em termos estatísticos, da percentagem de construção industrializada, entre 1970 e 1974 houve no mesmo período uma importante redução de novos fogos para habitação. Efectivamente, neste país construiram-se 321 mil fogos em 1963, atingiram-se 372 mil em 1971 e apenas 290 mil em 1974. Em termos gerais, dá a impressão de que o esforço de construção do final da década de 60 e início da actual foi feito à custa de soluções ditas industrializadas, mantendo-se no entanto um ritmo de racionalização da construção tradicional, não evidenciado em termos estatísticos.

Os valores relativos à Holanda, constantes do Quadro II, mostram um crescimento significativo,

QUADRO I

Construções para todos os tipos de habitação na Grã-Bretanha

Tipos de construção	Percentagem					
	1970	1971	1972	1973	1974	1975
Construção tradicional (principalmente de tijolo)	62,2	66,0	76,6	80,2	78,3	79,8
Construção industrializada	37,8	34,0	23,4	19,8	21,7	20,2
Na construção industrializada — Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Betão: Painéis	44,3	46,2	31,8	26,6	20,4	6,2
Estrutura reticulada	1,3	1,6	0,8	1,1	2,0	—
Elementos tridimensionais	0,4	—	—	—	—	—
Em obra	23,6	23,8	31,4	35,0	38,8	44,5
Madeira: Painéis	12,0	11,5	13,1	15,3	24,5	39,7
Aço: Painéis	—	—	0,4	0,6	—	—
Estrutura reticulada	5,4	3,3	5,7	7,3	7,8	4,3
Tijolos: Tradicional racionalizado	13,0	13,6	16,7	14,1	6,1	4,3
Fogos construídos (milhares)	368	372	341	315	290	332

(Quadro I). Dentro deste tipo de construção é sensível a redução da percentagem de edifícios de painéis pesados. Por certo não é estranha a este fenómeno a repercussão na opinião pública inglesa do acidente de Ronan Point, em 1968, com um edifício deste tipo. Note-se também que, no caso inglês, nos últimos anos, do uso do betão moldado em obra, o «béton banché», em detrimento da construção de painéis pesados prefabricados e da construção mais tradicional de tijolo. Neste período, o número total de fogos construídos parece ter passado também por um máximo, em 1973.

QUADRO II

Construções para todos os tipos de habitação, na Holanda

Tipos de construção	Percentagem				
	1971	1972	1973	1974	1975
«Béton banché»	18,9	22,4	27,7	28,9	
Elementos pesados com a dimensão dum compartimento	9,7	6,5	6,3	5,9	
Elementos leves, incluindo tijolos, etc.	71,3	71,1	66,0	65,2	
Fogos construídos (milhares)	138	153	156	147	122

Passando aos países europeus de economia planificada, o Quadro III apresenta valores da construção na Checoslováquia para os edifícios multifamiliares, em três anos bastante separados.

tuídos pelos painéis de maior dimensão. Como curiosidade, registe-se que a solução de estruturas reticuladas monolíticas, tão generalizadas entre nós, não tem significado naquele país.

QUADRO III

Construções para edifícios multifamiliares na Checoslováquia

Tipos de construção	Percentagem		
	1963	1970	1975
Blocos cerâmicos e de betão	42,8	7,6	3,7
Painéis de dimensão média	10,7	17,0	7,2
Estruturas reticuladas monolíticas	0,6	0,2	—
Estruturas reticuladas prefabricadas	2,8	2,3	2,7
Painéis com a dimensão dum compartimento	36,6	72,6	85,8
Fogos construídos (milhares)	91	123	152

Naquele quadro, verifica-se uma percentagem de prefabricação muito elevada. Assim, a construção de blocos de pequena dimensão foi praticamente substituída pelas soluções de painéis pesados. Os sistemas de painéis de dimensão média atingiram um máximo em 1970 e estão também a ser substi-

No Quadro IV, apresenta-se ainda o exemplo da Hungria, com uma evolução idêntica ao caso anterior. Apenas se regista o relevo que parece estar a assumir naquele país a solução de «béton banché».

QUADRO IV

Construções para edifícios multifamiliares na Hungria

Tipos de construção	Percentagem		
	1963	1970	1975
Blocos cerâmicos	32,4	18,6	9,6
Blocos de betão leve de dimensão média	22,9	3,4	0,6
Grandes blocos de betão leve	19,6	19,3	9,5
Painéis com a dimensão de um compartimento	1,3	49,7	63,2
Estruturas reticuladas de betão armado	15,8	4,9	2,3
«Béton banché»	2,1	3,7	14,3
Fogos construídos (milhares)	53	80	100

As estatísticas da O.N.U. não referem a situação em França, mas estimava-se em 1972 que cerca de 60 % das construções para habitação de renda económica fossem executadas segundo sistemas industrializados [18]. Gomes da Silva, na sua comunicação [29] refere também a importância da construção industrializada em França, quer nos edifícios colectivos quer nos unifamiliares.

Os números apresentados mostram, nalgumas regiões, uma tendência para o aumento das dimensões dos elementos prefabricados: dos tijolos e blocos pequenos passa-se para os blocos de tamanho médio e para os painéis de grandes dimensões. Há uma evolução lenta mas sistemática a que correspondem sucessivas etapas de industrialização.

Porém nem sempre é a utilização dos grandes painéis que constitui a via seguida para a industrialização. As construções com paredes de betão moldado em obra, o recurso a toda a complexa gama de elementos secundários — dificilmente detectada nas estatísticas — e a introdução da mecanização, são outras tantas vias de industrialização que se têm vindo a acentuar.

3 — SISTEMAS INDUSTRIALIZADOS DE CONSTRUÇÃO

3.1 — Características gerais

Adopta-se aqui um conceito de sistema que não corresponde ao processo de construção nem mesmo à série industrial. Em sentido lato e atendendo a que o termo sistema significa um conjunto de relações entre partes interdependentes, mesmo na construção tradicional haverá um sistema. Porém, na acepção que se irá usar, os sistemas que se consideram são apenas os industrializados, ou seja os sistemas em que não só são racionalizados — e em consequência normalizados — e, eventualmente, prefabricados os elementos de construção, mas também são normalizadas as suas relações — diga-se ligações. No que se segue, usar-se-á o termo sistema como sinónimo de sistema industrializado.

Nos sistemas de construção, sobretudo nos casos mais perfeitos, encontra-se uma integração de todo o processo construtivo, desde a fase de planeamento e projecto, passando pela organização das tarefas, pelos métodos e instalações de fabrico, pelos processos e equipamentos de montagem, até à conclusão das construções. Em princípio, tudo estará previsto, racionalizado, digamos industrializado.

O sistema, para atingir uma maior eficácia, começa antes do projecto. Assim inclui uma coordenação de dimensões, métodos próprios de concepção e de apresentação de projectos e técnicas de fabrico dos elementos — em instalações próprias ou sob contrato; através de uma mesma empresa ou recorrendo a empresas associadas, procede à montagem segundo técnicas normalizadas; inclui elementos secundários e de revestimentos que, embora com uma certa flexibilidade, são definidos com todo o pormenor.

O sistema é oposto à improvisação.

Rodrigues dos Santos, na sua comunicação [33] apresenta uma noção de sistema industrializado inteiramente análoga, insistindo ainda nas conse-

quências que daí resultam para a organização das empresas de construção que queiram evoluir para uma construção industrializada, bem como para a importância que nelas assumem os seus quadros técnicos.

Na nossa comunicação [27] sobre os problemas de qualidade na construção industrializada, chama-se também a atenção para a importância do trabalho de estudo, coordenação e projecto desenvolvido no seio das empresas detentoras de sistemas industrializados. Da qualidade das suas equipas depende a qualidade das obras produzidas.

3.2 — Sistemas abertos

Os sistemas que se têm vindo a referir assumem normalmente a forma de sistemas fechados, ou seja, sistemas cujos elementos de construção só podem ser usados por uma única organização produtora, eventualmente com algumas concessionárias.

A abertura dos sistemas de construção, no sentido da possibilidade de diferentes fabricantes produzirem elementos e componentes a integrar nas mesmas construções, está dependente sobretudo da resolução do problema das ligações. Esta questão constitui uma das maiores dificuldades de natureza tecnológica para a abertura dos sistemas de construção.

Têm sido tentadas algumas experiências no sentido da abertura dos sistemas, normalmente em construções de pequeno porte. Nessas experiências, os fabricantes produzem elementos satisfazendo um conjunto de regras que facilite a sua integração em diferentes construções, o que terá como vantagem a sua escolha por catálogo, permitindo maiores séries de fabrico e, portanto, índices de produtividade mais elevados. Pode-se afirmar que, também nestes casos, haverá, por detrás do conjunto dos fabricantes e das empresas de montagem, verdadeiros sistemas que garantem a eficiência do processo.

Alguns países nórdicos têm desenvolvido uma acção notável neste domínio. Na Dinamarca, por exemplo, a industrialização da construção sofreu, cerca de 1960, um forte impulso apoiado na prefabricação e na coordenação modular, a qual foi acompanhada pela normalização das ligações. Criaram-se assim condições para a abertura dos sistemas de prefabricação. Naquele país está agora em desenvolvimento um novo esforço de abertura, através do «Byggeriets Planlaegnings Systems» (B.P.S.) — Sistema de Planeamento da Construção — que pretende acelerar ainda mais a produção, em sistema aberto, de elementos de construção, a partir duma cooperação entre os serviços oficiais de investigação no domínio da construção, os projectistas, a indústria de construção e ainda os donos de obra do sector público [14]. O trabalho desenvolvido no quadro desta cooperação apoia-se nos seguintes elementos:

— convenções dimensionais;

— convenções de qualidade;

— catálogos com pormenores de ligação;

— documentos sobre os sistemas parciais e os componentes;

— normalização de desenhos;

— guia para a concepção dos sistemas parciais e dos componentes;

— controle de qualidade.

A abertura dum sistema só se atinge quando os produtores, os projectistas e os utilizadores estão de acordo em aceitar as mesmas regras de qualidade, de dimensões e de ligação. É particularmente significativa a acção em curso no Grupo Modular Internacional — grupo de trabalho W24/IMG do CIB [26] — no domínio da coordenação dimensional e da definição de tolerâncias de dimensões. Acções deste tipo, completadas com esforços convergentes da I. S. O., também no domínio da coordenação dimensional modular e da tipificação de juntas, do C. E. B. e da F. I. P. nas recomendações para dimensionamento e execução de juntas, da U. E. A. t. c. no estabelecimento de directivas comuns relativas à qualidade, e de outras organizações internacionais análogas, permitem antever a possibilidade duma maior abertura dos sistemas a nível internacional. Será utopia pensar num sistema mundial em substituição dos sistemas das empresas, dos consórcios ou até dos sistemas nacionais já existentes?

3.3 — Medida da industrialização dum sistema

São diversas as formas de traduzir o grau de industrialização dum sistema: percentagem da obra prefabricada, mão-de-obra utilizada no estaleiro, prazos de execução. No entanto, considera-se que nenhum índice traduz efectivamente o objectivo se não for uma medida da produtividade do pessoal afecto à construção. Esta medida exprime-se pelo número de horas de trabalho por metro quadrado de área construída. Habitualmente, não são conhecidos os valores totais, mas apenas o número de horas de operário por metro quadrado de área construída.

Põe-se ainda a questão de saber que pessoal operário, pois este poderá incluir o pessoal utilizado na produção de materiais e componentes da construção, nas fábricas de prefabricação, nos transportes e ainda no estaleiro da obra. O ideal seria conhecer o seu valor total. No entanto, é corrente considerar apenas o pessoal próprio da indústria de construção, ou seja, o pessoal utilizado na prefabricação, no transporte e no estaleiro da obra.

A título de exemplo refiram-se alguns números.

Assim, num estudo relativo à evolução da construção na Dinamarca [14] refere-se que, pelos métodos tradicionais de construção, se gastavam 22 horas-operário/m² nos edifícios de habitação. A racionalização empreendida, numa primeira fase, permitiu a redução para 13 horas-operário/m². Actual-

mente, numa empresa que utiliza a prefabricação pesada, obtém-se números da seguinte ordem:

Prefabricação	— 2,5	horas-operário/m²
Obra	— 4	horas-operário/m²
Total	— 6,5	horas-operário/m²

Em soluções industrializadas de elevada produtividade, obtém-se valores da ordem de 8, de 6 ou até de 3 horas-operário/m².

Quanto à situação em Portugal, não há valores suficientemente seguros. No entanto, estimamos que, em 1973, o índice de produtividade da indústria de construção se situaria entre 25 e 30 horas-operário/m², na construção habitacional.

Outro índice com interesse e proposto pela O.N.U. [5] para traduzir o nível de industrialização da construção é o relativo à incidência do custo da mão-de-obra no custo global da construção. Segundo aquela Organização, quando tal índice ultrapassa 40 %, existe atraso no processo de industrialização.

Consideramos que este índice pode, em certas circunstâncias, não traduzir correctamente a situação. Bastará haver um desequilíbrio conjuntural entre o custo dos materiais, dos equipamentos e da energia por um lado e os salários por outro, para que os valores daquele índice sejam pouco significativos. Em todo o caso, será sempre um índice a utilizar, embora com a reserva apontada. A propósito, refira-se que, entre nós, a Administração Pública adoptou, nas fórmulas de revisão de preços fixados em 1975, o valor de 50 % para a incidência dos encargos com pessoal na construção de edifícios.

4 — EVOLUÇÃO DAS TECNOLOGIAS DA CONSTRUÇÃO EM PORTUGAL

4.1 — Construção tradicional

A evolução das tecnologias utilizadas na construção de edifícios em Portugal tem seguido, embora com significativo atraso, a evolução geral europeia a que já se fez referência. Até há poucos anos, apresentava ainda reduzido grau de industrialização.

Na primeira metade do século generalizou-se a utilização das estruturas de betão armado em substituição das alvenarias resistentes. Entretanto, este tipo de construção, embora em regressão, continua a ser usado em edifícios de pequeno porte e, no Norte do País, era ainda recentemente usado em edifícios de porte médio. Nestas construções, a estrutura de alvenaria aparece associada com pavimentos de betão armado e elementos de contraventamento e suporte do mesmo material.

As estruturas reticuladas de betão armado tornaram-se a solução mais corrente em edifícios de habitação com dois ou mais pisos. No final da década de 60, constituiam mesmo a solução quase exclusiva, com uma tipologia bem marcada: estrutura de betão armado, pavimentos do mesmo material ou executados a partir de elementos prefabricados de pequena dimensão, paredes exteriores e interiores de alvenaria de blocos cerâmicos.

Note-se que, no entanto, esta solução construtiva não se tem mantido estática. Tem evoluído e, de certo modo, a caminho de um certo grau de industrialização.

Assim, quanto à estrutura reticulada, têm-se aligeirado as suas secções, em consequência do progresso havido no dimensionamento e na execução do betão armado. Desenvolveu-se a racionalização das cofragens de madeira e, mais recentemente, utilizam-se cofragens metálicas. As alvenarias aligeiraram-se e, nalguns casos, são já substituídas por painés de dimensão média. Na execução dos pavimentos, introduziram-se não só aligeiramentos, mas também elementos prefabricados de pequena dimensão, de betão armado e de betão pré-esforçado. Mais recentemente, associam-se elementos prefabricados de maior dimensão, sob a forma de pranchas ou de prelajes.

Na execução destas construções, é crescente o recurso ao betão fornecido por centrais industriais. Nos estaleiros, introduzem-se equipamentos de movimentação e transporte — monta-cargas, gruas e «dumpers» — que aumentam a sua mecanização. A crescente potência destes equipamentos justifica, por sua vez, a introdução de uma prefabricação parcial, com elementos pesando algumas centenas de quilogramas.

Deste modo, a construção tradicional vai evoluindo a caminho da industrialização. Retomando as considerações atrás apresentadas, acentua-se que esta via só se tornará potente se for introduzida uma forte componente de racionalização, não só ao nível de projecto, mas também no domínio da execução.

4.2 — Construção industrializada

Na nossa comunicação relativa aos problemas de qualidade na construção industrializada [27] apresentou-se uma breve síntese do que foi a evolução, entre nós, da construção com características industrializadas. Retoma-se aqui o mesmo tema, ainda que com riscos de alguma repetição.

As primeiras construções prefabricadas leves foram executadas há já algumas dezenas de anos, destinadas a habitação de carácter provisório e a aldeamentos para estaleiros de barragens. Posteriormente, na década de 60, este tipo construtivo foi retomado, graças à procura que então teve para outras utilizações, particularmente instalações militares e escolares. O seu uso na habitação continuou a ser feito com carácter precário, em bairros provisórios da região de Lisboa. A principal característica destas construções é a sua baixa qualidade, justificada pelo carácter precário dos empreendimentos.

Entretanto, em meados da década de 60, inicia a sua actividade uma empresa de prefabricação de painéis pesados, que vem desde então produzindo um número de fogos anual da ordem do milhar.

Até 1974, eram estas as únicas soluções de construção industrializada que se vinham utilizando na habitação. É certo que se podiam verificar já algumas outras experiências que vale a pena mencionar: um bairro de carácter provisório na zona de Lisboa, constituído por edifícios de painéis pesados de pequeno porte; um bairro análogo, mas de carácter definitivo, na zona de Sines; alguns edifícios com estrutura reticulada prefabricada e solidarizada em obra.

Note-se no entanto, que, em 1974, já a prefabricação pesada vinha conhecendo uma grande expansão no país, com aplicações em edifícios industriais, escolas e pavilhões gimno-desportivos. Esta actividade deu origem a diversas instalações fabris de dimensão significativa.

Nos últimos três anos, assiste-se a um notável incremento da prefabricação leve e pesada, resultado do incentivo dado por certos organismos de promoção oficial, os quais entenderam ser o único processo de dar cumprimento a programas de construção que os métodos convencionais não conseguiriam satisfazer. Paralelamente, a prefabricação leve vem sendo também utilizada na construção de casas de férias, com implantação de carácter precário. Este surto de prefabricação é constituído sobretudo por casas de pequeno porte.

O número de instalações fabris continua a aumentar, quer para a construção pesada, quer para a construção leve. Neste último caso, assiste-se mesmo à reconversão de indústria dos sectores da metalomecânica, da carpintaria e do mobiliário, para a produção de casas prefabricadas.

Paralelamente, desenvolve-se a utilização na habitação das tecnologias baseadas no emprego de cofragens metálicas industrializadas, para execução de estruturas laminares de betão. Este tipo construtivo tinha sido já utilizado com êxito, entre nós, em instalações hoteleiras.

Saliente-se ainda o desenvolvimento que se vem registando nas instalações fabris destinadas à produção de elementos prefabricados para pavimentos e para divisórias leves e semi-leves. A racionalização e prefabricação de armaduras em instalações fixas regista também algumas experiências com interesse. Finalmente, verifica-se o aparecimento duma indústria de metalomecânica produtora de elementos de equipamento auxiliar da construção: gruas e pórticos, cimbres, cofragens metálicas, etc.

4.3 — Dados estatísticos (1)

É conhecida a dificuldade em obter elementos estatísticos válidos relativos aos diversos sectores de actividade do país. Também no campo da construção se luta com idêntico problema. No entanto, irão ser apresentados alguns valores que permitem obter uma visão mais quantificada da situação da construção, dum ponto de vista tecnológico.

No Quadro V, apresenta-se a evolução dos diversos tipos de construção de edifícios, de acordo com as Estatísticas da Construção e Habitação [1].

QUADRO V

Construções para todos os tipos de edifícios em Portugal

Tipos de construção	Percentagem						
	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976
Madeira	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,2
Pedra	16,2	15,8	10,9	8,9	7,5	10,8	9,7
Tijolo	63,4	60,9	61,2	56,6	41,6	45,6	47,3
Estruturas reticuladas de betão armado	17,9	18,6	22,5	30,7	46,7	33,3	30,0
Blocos de betão	2,0	4,2	5,2	3,6	4,1	9,4	12,4
Estruturas reticuladas de aço	—	0,1	—	0,1	—	0,3	0,2
Outros	0,2	0,3	0,1	—	—	0,2	0,2

(1) Valores actualizados após o Congresso.

O quadro não é explícito quanto às tecnologias utilizadas, mas apenas quanto aos materiais da estrutura resistente. A importância das construções com alvenarias resistentes está exagerada no quadro pois que se trata habitualmente de edifícios unifamiliares, enquanto que as estruturas reticuladas de betão armado se referem sobretudo a construções multifamiliares. A redução da percentagem destas últimas no ano de 1975 pode ser explicada pela mesma razão, pois que, naquele ano, a construção multifamiliar sofreu uma grande redução.

As mesmas estatísticas [1] fornecem outras informações complementares. Assim, de acordo com as estatísticas de consumo, a evolução da utilização de «painéis prefabricados» tem sido a seguinte:

«Painéis prefabricados»	1970 — 144 420 m²
(Estatísticas de consumo)	1971 — 252 624 m²
	1972 — 218 643 m²
	1973 — 311 888 m²
	1974 — 558 925 m²
	1975 — 218 803 m²
	1976 — 380 480 m²

O último valor tem características anómalas.

As estatísticas de produção [2] fornecem os seguintes valores relativos ao fabrico de «vigas de cimento»:

«Vigas de cimento»	1960 — 8 767 t
(Estatísticas de produção)	1965 — 62 669 t
	1970 — 114 890 t
	1971 — 204 039 t
	1972 — 249 757 t
	1973 — 301 916 t
	1974 — 374 933 t
	1975 — 411 633 t
	1976 — 448 867 t

Este tipo de elementos engloba fundamentalmente as vigotas de betão pré-esforçado para pavimentos. Tem sido notória a sua expansão, quase quadruplicando nos últimos cinco anos. A propósito, refira-se que, em 1968, se estimava existirem cerca de 30 fábricas de prefabricação de elementos para pavimentos. Actualmente tem-se conhecimento de cerca de 80 fábricas, cuja produção anual se pode estimar realisticamente em cerca de milhão e meio de contos.

São também interessantes os valores relativos a «artigos de cimento não discriminados» os quais englobam elementos tão diversos como telhas, blocos e abobadilhas de betão e ainda painéis prefabricados para paredes e pavimentos.

«Artigos de cimento não discriminados»	1970 — 76 183 t
	1971 — 136 641 t
(Estatísticas de produção)	1972 — 202 626 t
	1973 — 518 706 t
	1974 — 1 217 193 t
	1975 — 965 972 t

Relativamente aos investimentos em capital fixo na indústria de construção, os dados estatísticos são muito pouco significativos. Por um lado, porque não separam as obras públicas da construção de edifícios, e é sabido que os trabalhos de obras públicas absorvem volumes muito significativos de equipamento. Por outro lado, o investimento em instalações fabris fixas não é registado naquele total, mas sim nas indústrias a montante: artigos de betão, carpintaria, metalomecânica, etc.

Não existem também quaisquer estatísticas que refiram o volume total dos elementos prefabricados utilizados na construção de edifícios. Ponderando informações diversas, quer da produção, quer do consumo, estima-se em cerca de três milhões de contos o valor da produção anual de elementos prefabricados para edifícios. Esta produção distribui-se por cerca de 20 fábricas de prefabricação pesada, outras 20 de prefabricação leve, além das 80 unidades que produzem sobretudo elementos para pavimentos, e diversas outras instalações produtoras de elementos estruturais e divisórias [22].

4.4 — A qualidade da construção industrializada

São diversos os problemas suscitados pela industrialização da construção, em curso em Portugal: mão-de-obra e desemprego, dependência tecnológica do exterior, falta de suficiente acção de racionalização, degradação da qualidade. Não sendo passível abordá-los todos no âmbito deste relato, escolheu-se o último por ter sido o tema preferido por duas comunicações apresentadas ao Congresso.

Na nossa comunicação [27] chama-se a atenção para a degradação de qualidade que, em muitos casos, vem acompanhando a introdução de soluções industrializadas de construção. Esta degradação é devida a deficiências de projecto e também de defeitos de execução. A introdução de novos métodos de consulta às empresas, com a transferência para estas duma fase significativa do projecto, a carência de gabinetes técnicos suficientemente habilitados para o estudo dos problemas postos pelas novas tecnologias e ainda a necessidade de metodologias de fiscalização e controle adequadas aos novos materiais e processos de construção, são algumas das razões que explicam a situação criada. Situação esta que é paradoxal, pois as técnicas de construção industrializada favorecem a implementação do controle de qualidade.

Naquela comunicação referem-se algumas acções em curso tendentes a corrigir a situação: instalações de empresas com elevada tecnologia, criação de gabinetes técnicos capazes, preparação de quadros de organismos promotores de obras, homologação dos novos processos pelo LNEC, apreciação «ad hoc» de

projectos pelo LNEC, e intercâmbio internacional. Apresenta-se ainda um conjunto de novas acções a desenvolver, para além da intensificação das já referidas. São acções que se enquadram nos diversos domínios do ensino de investigação, da regulamentação e normalização e ainda do controle de qualidade.

De entre as acções de controle de qualidade, destaca-se o controle do projecto e da execução. Relativamente ao controle de execução, qualquer metodologia a implementar terá de se basear num controle interno, de iniciativa das empresas construtoras. Entre nós está quase tudo por fazer neste domínio, sendo muito poucas as empresas que têm instituído qualquer sistema de auto-controle.

A comunicação apresentada por Outeiro [28] refere a metodologia de controle de qualidade instituída numa empresa de prefabricação por painéis pesados. Este controle está organizado num sector autónomo e independente dos departamentos de projecto e de execução, com os quais dialoga. A experiência relatada refere-se ao curto período de um ano, embora a empresa tivesse já experiência anterior de acções de controle.

Naquele caso, o controle refere-se não só à recepção de materiais, mas também à produção de elementos prefabricados e a certos aspectos da montagem dos edifícios.

Embora o próprio autor reconheça que a acção em curso pode ser intensificada e complementada, trata-se duma experiência a servir de exemplo para muitas empresas do sector.

5 — CLASSIFICAÇÃO DAS SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS

Antes de se iniciar uma apresentação sistemática das diferentes tecnologias de construção de edifícios, interessaria dispor duma classificação adequada. São diversos os critérios que poderão ser usados para essa classificação.

Um primeiro critério será o do grau de industrialização dos diversos processos construtivos. E aqui poder-se-ia seguir a classificação de Lewicki [11]:

Grau de industrialização ↓

- Construção primitiva
- Contrução tradicional artesanal
- Construção tradicional racionalizada
- Construção realizada com cofragens industrializadas
- Construção por grandes elementos prefabricados

Outro critério seria o baseado na solução adoptada para as paredes da construção, dada a importância que estes elementos de construção assumem no volume total do tosco [20]. De certo modo, este é, em parte, o critério usado pelas estatísticas oficiais a que se refere o Quadro V.

Um terceiro critério, talvez com mais interesse prático, será o baseado na tipologia da estrutura resistente. Ao contrário do critério anterior, este último procura salientar o tipo estrutural em vez dos materiais usados.

Finalmente, um último critério, que de certo modo já tem vindo a ser utilizado neste trabalho, é o que separa as soluções de construção pesada das de construção leve, destacando, eventualmente, a construção semi-leve.

No que se segue serão adoptadas fundamentalmente os dois últimos critérios, embora se façam algumas referências a certos aspectos relacionados com os dois primeiros. Assim, serão consideradas, sucessivamente, as tecnologias que se enquadram na seguinte classificação:

Sistemas pesados com estrutura reticulada

Estrutura moldada em obra
Estrutura prefabricada
Sistemas «lifting»

Sistemas pesados com estrutura parede

Alvenarias resistentes
Estrutura moldada em obra
Painéis pesados prefabricados
Caixões prefabricados

Soluções mistas de construção pesada
Sistemas leves

Repare-se que o termo «sistema» poderá, em muitos casos, não corresponder ao conceito apresentado no Capítulo III, traduzindo antes um processo de construção, como é habitual em linguagem corrente.

Nos capítulos seguintes, procurar-se-á ter em atenção especial a situação portuguesa, embora nalguns casos se torne necessário referir soluções não utilizadas ainda entre nós.

6 — SISTEMAS PESADOS COM ESTRUTURA RETICULADA

6.1 — Estrutura moldada em obra

Trata-se da solução mais generalizada em Portugal para a construção de edifícios multifamiliares, executados a partir duma estrutura de betão armado moldada em obra, habitualmente complementada com pavimentos também de betão armado moldados em obra ou executados a partir de elementos prefabricados, e preenchida por paredes de alvenaria. Em 4.1, referiram-se já as suas principais características, bem como as vias que vêm sendo seguidas para a sua industrialização: aligeiramento da estrutura, racionalização e industrialização de cofragens e armaduras, utilização de betão fabricado em centrais industriais, mecanização dos trabalhos de estaleiro.

Note-se, no entanto, que o custo da estrutura representa uma pequena parcela do custo total da obra: um décimo para a estrutura reticulada e outro décimo para os pavimentos, números redondos. Aliás, o mesmo se pode dizer em relação às soluções referidas em 6.2 e 6.3. Em 6.4, serão abordados alguns aspectos relacionados não só com a execução de pavimentos mas também de paredes, nestes tipos de soluções construtivas.

6.2. — Estrutura prefabricada

Neste tipo de construção utilizam-se estruturas executadas a partir de elementos prefabricados, conhecendo-se soluções de elementos metálicos e de elementos de betão armado. As estruturas metálicas não têm sido usadas entre nós, a não ser para construção leve e semi-leve, a que adiante se fará referência.

Quanto às estruturas prefabricadas de betão armado, são também pouco usadas na habitação, pelo menos na sua forma pura, embora se conheçam diversos sistemas que vêm sendo aplicados em pavilhões industriais e em edifícios escolares e de escritórios.

Habitualmente estas estruturas são seccionadas pelos nós, sendo prefabricados os pilares e as vigas. Noutras soluções, o seccionamento é feito a meio das vigas ou a meio dos pilares. Por vezes constituem-se pórticos elementares prefabricados.

O principal problema deste tipo construtivo reside na concepção e execução das ligações, tema abordado pela comunicação de Pompeu dos Santos [31]. Este autor refere um programa de estudos que tem em curso no LNEC sobre este tema, adiantando já algumas considerações sobre os aspectos que lhe parecem mais importantes.

Aquela comunicação começa por apresentar uma proposta de classificação das ligações entre elementos lineares. Seguidamente, analisa as diversas exigências de segurança estrutural, de protecção contra o fogo, de durabilidade, de execução e montagem, de aspecto e de economia. Refere diversas soluções tecnológicas para a sua execução e comenta alguns exemplos típicos.

O autor parece especialmente sensibilizado para os problemas de segurança estrutural que são, evidentemente, os mais importantes deste tipo de ligações. Refere a informação disponível em diversa documentação normativa, salienta o interesse dos ensaios de comportamento para a caracterização das ligações, a importância do comportamento não linear das ligações nas estruturas hiperstáticas e a eventual necessidade de, na fixação dos coeficientes de segurança, ter em conta essa não linearidade e ainda as características de ductilidade das ligações. Termina o seu trabalho com um programa para prosseguimento dos estudos.

Em Portugal, têm-se divulgado algumas soluções de prefabricação de estruturas reticuladas de betão armado utilizando elementos prefabricados que necessitam de completamento em obra para constituirem pilares e vigas. Os elementos verticais são vazados internamente e formam apenas a envolvente do pilar, na qual estão instaladas as armaduras. Os elementos horizontais constituem a zona inferior das vigas, contendo também a maior parte das armaduras. Estas previgas são completadas com betão colocado em obra, até à face superior do pavimento. Trata-se de soluções de origem italiana que se vêm usando em diversos países europeus.

A principal vantagem daquele tipo de solução consiste no facto de os elementos prefabricados apresentarem pesos relativamente reduzidos — normalmente inferiores a 1 tf —, podendo ser manobrados pelos equipamentos disponíveis na maioria das empresas de construção.

Solução análoga é a referida por Pinheiro Carrilho e Dominguez Cuña numa comunicação [30] que apresenta um processo de execução de estruturas reticuladas de betão armado a partir de componentes prefabricados, concebido e desenvolvido pelos autores. Neste caso, os elementos prefabricados têm secções em L e integram grande parte das armaduras definitivas. O principal objectivo a atingir foi a obtenção de elementos prefabricados com pesos suficientemente pequenos para poderem ser utilizados sem recurso a equipamento especial para o seu transporte e colocação em obra.

Como os próprios autores reconhecem, a solução concebida levanta alguns problemas de comportamento, resultantes, sobretudo, da associação de betões de idades diferentes, sendo conveniente o prosseguimento do seu estudo, através da experimentação em protótipos de peças lineares e de estruturas elementares.

Outra comunicação, de Veiga Lagoa e Figueiredo Dias [34], refere uma solução construtiva análoga às anteriores e destinada à execução de vigas. Trata-se de previgas, com secção rectangular, em L ou em U, conforme as aplicações, as quais integram também parte das armaduras definitivas. Neste caso, as armaduras são constituídas por malhas electrossoldadas e por «treillis» de varões também electrossoldados. É sabido que a principal dificuldade para este tipo de solução é a obtenção de varões cujas características não sejam afectadas pela soldadura.

Não se pode dizer que as várias soluções que se têm vindo a referir não levantem problemas de dimensionamento. Efectivamente a associação, nas mesmas secções, de betões de idades diferentes não permite que os critérios de dimensionamento do betão armado possam ser aplicados sem cuidados adicionais. Assim, nos pilares, não só se desenvolvem estados iniciais de tensão entre os dois betões, como ainda as duas zonas terão diferente comportamento à fluência sob cargas permanentes. Quanto às vigas, registam-se problemas de dimensionamento aos esforços transversos, pois que a ligação entre os dois betões pode constituir uma superfície mais fraca, se não for suficientemente rugosa e armada. No funcionamento à flexão há que atender também à

possível existência de estados iniciais de tensão, mais importantes se as peças não forem escoradas na montagem, e ainda aos efeitos da fluência que originam distribuições de tensão diferentes das que se encontram em secções homogéneas.

Nestes termos, em relação à comunicação de Pinheiro Carrilho e Dominguez Cuña [30], considera-se que o coeficiente de majoração $\gamma s = 1{,}5$ nela proposto, poderá ter de ser afectado por um outro factor que tenha em conta as particularidades de comportamento das secções. Também em relação às tensões tangenciais originadas pelo esforço transverso, poderá ser necessário efectuar, não só a verificação habitual do betão armado, mas ainda a verificação relativa às tensões de escorregamento na superfície de contacto entre os dois betões. Recomendações recentes do C. E. B. [23] fornecem critérios para esta verificação.

A comunicação apresentada por Veiga Lagoa e Figueiredo Dias [34] considera que o comportamento estrutural das vigas executadas com as previgas descritas é inteiramente assimilável ao de vigas de betão armado moldadas em obra, e que as disposições construtivas a adoptar são apenas as recomendadas pelo Regulamento de Estruturas de Betão Armado. Pelas razões que já atrás se expuseram, entende-se, contudo, que algumas reservas se podem pôr ainda neste domínio.

Em todos estes tipos estruturais, o principal problema reside, no entanto, na possibilidade de se assegurar o monolitismo dos nós. Repare-se que a dificuldade não resulta só do facto de se terem betões de idades diferentes associados, mas também da interrupção da quase totalidade das armaduras nos nós. Além disso, tratando-se de elementos prefabricados, procura-se normalmente que as secções sejam o mais reduzidas possível, donde resultam problemas para a correcta colocação do betão nos nós.

Os comentários apresentados não pretendem significar que estes tipos estruturais não devam ser usados, mas sim que os critérios de segurança adoptados no seu dimensionamento devem ter em conta os comportamentos reais, traduzidos em coeficientes de segurança adequados, que poderão ser superiores aos usuais em secções homogéneas.

6.3 — Sistemas «Lifting»

Incluem-se nesta classificação diversos sistemas de características análogas, que se baseiam na prefabricação de parte das estruturas ao nível do piso inferior, seguida da sua elevação para a posição definitiva por meio de macacos hidráulicos.

A principal vantagem destas técnicas é permitirem a execução de grande parte do trabalho no mesmo local, a base do edifício, o que tem particular importância para climas frios. Face ao reduzido interesse destas soluções para o nosso país, onde não são usadas, julga-se não valer a pena apresentar neste relato mais particularidades sobre as técnicas de execução e o funcionamento estrutural.

6.4 — Elementos complementares da construção

Já se referiu que os diferentes tipos de soluções construtivas atrás apresentados permitem obter apenas a estrutura reticulada dos edifícios. Considera-se oportuno fazer algumas observações sobre as técnicas complementares para a execução de paredes e de pavimentos.

Quanto às paredes, é conhecida a solução tradicional de alvenaria de tijolos cerâmicos. Mais recentemente, tem-se divulgado entre nós a utilização de blocos de betão leve, quer de betão de agregados de argila expandida, quer de betão celular autoclavado. As dificuldades de abastecimento por parte da indústria cerâmica permitiram também a expansão do uso dos blocos de betão normal.

Estas alterações têm originado alguns problemas que importa enunciar muito sucintamente. Tivemos ocasião de, noutra oportunidade [20], tratar estes assuntos com mais pormenor.

Uma primeira questão refere-se ao aligeiramento progressivo das alvenarias, o qual se traduz em vantagens de economia global no transporte e execução, bem como de economia da estrutura resistente, mas apresenta o inconveniente de reduzir o isolamento sonoro das paredes.

Outra questão está associada ao facto de que a precisão de dimensões dos blocos de betão permite dispensar rebocos espessos, o que é uma vantagem construtiva e económica. No entanto, abaixo de certos valores da espessura, as alvenarias de blocos não rebocadas podem não apresentar suficiente resistência à acção de choques. No caso de paramentos exteriores sujeitos às intempéries, tais rebocos delgados não são, em geral, suficientes para garantirem estanquidade à água.

Finalmente, refira-se que certas soluções de alvenarias utilizam blocos com características mecânicas tão baixas, que é difícil aceitar que possam apresentar alguma contribuição para o contraventamento das construções, particularmente para as acções sísmicas. Esta é uma das questões abordadas na comunicação de Almeida Anes [32], que adiante se referirá mais em pormenor.

Outras soluções, que vêm sendo utilizadas em paredes interiores ou em fachadas, envolvem o emprego de painéis prefabricados leves e semi-leves. Trata-se de soluções análogas às que se referem no Capítulo 9, a propósito da prefabricação leve.

Relativamente à execução dos pavimentos, para além dos pavimentos de betão armado moldados em obra, pode-se referir um conjunto de soluções que utilizam elementos prefabricados. Durante um certo período, foram bastante utilizadas lajes moldadas em obra e aligeiradas por elementos de vazamento, em geral cerâmicos. Este tipo construtivo caíu em desuso.

Quanto às soluções que utilizam elementos prefabricados podem-se referir os seguintes tipos, alguns deles muito análogos entre si:

— Pavimentos constituídos por vigotas de betão armado com «treillis» metálicos, abobadilhas de aligeiramento e betão complementar colocado em obra;
— Pavimentos idênticos aos anteriores, de vigotas de betão pré-esforçado;
— Pavimentos ainda idênticos aos anteriores, de pranchas cerâmicas pré-esforçadas;
— Pavimentos de pranchas vazadas de betão armado, justapostas lado a lado;
— Pavimentos idênticos aos anteriores, de pranchas pré-esforçadas;
— Pavimentos de prelajes de betão armado e betão complementar colocado em obra;
— Pavimentos idênticos aos anteriores, de prelajes pré-esforçadas.

Conhecem-se ainda, em alguns países, soluções compósitas de betão armado e perfis metálicos com formas mais ou menos elaboradas, funcionando como cofragem e como armadura. Gomes da Silva [29] refere, na sua comunicação, algumas destas soluções, com as quais contactou em França. Nos sistemas de painéis pesados, usam-se ainda outros tipos de pavimentos, constituídos por grandes painéis prefabricados, de betão armado, eventualmente aligeirados por vazamentos.

O maior inconveniente no aligeiramento crescente dos pavimentos resulta da redução do isolamento sonoro entre andares sobrepostos, particularmente nos edifícios multifamiliares.

A comunicação de Veiga Lagoa e Figueiredo Dias [34], além das previgas a que já se fez referência, apresenta também uma solução de pavimentos de prelajes de betão armado. Aliás, existe já uma solução análoga homologada pelo L.N.E.C.

Aquela comunicação refere as técnicas utilizadas no fabrico das prelajes e na sua colocação em obra. Também neste caso, cabe fazer uma observação idêntica à suscitada a propósito das previgas. Efectivamente, não se julga incontroverso que o funcionamento estrutural dos pavimentos assim obtidos se possa considerar assimilável ao de lajes maciças de betão armado, e que as disposições construtivas a adoptar sejam simplesmente as do Regulamento de Estruturas de Betão Armado. Considera-se que a pormenorização dos apoios exige disposições construtivas especiais, o dimensionamento ao esforço transverso implica verificações suplementares e o dimensionamento de lajes armadas em cruz envolve também algumas particularidades [10].

7 — SISTEMAS PESADOS COM ESTRUTURA PAREDE

7.1 — Alvenarias resistentes

É uma solução que continua a ser usada em construções de pequeno porte por todo o país, particularmente no Norte. Hoje em dia, integra elementos de contraventamento de betão armado e pavimentos dos vários tipos atrás referidos.

Os materiais que actualmente se usam, conforme se vê pelo Quadro V, são a pedra — particularmente o granito —, os tijolos e os blocos de betão. Estes últimos vêm aumentando a sua participação, enquanto que a pedra e o tijolo a vêem reduzida. Esta evolução justifica-se pelos custos elevados da alvenaria de granito e pelas dificuldades de abastecimento por parte da indústria cerâmica. Por sua vez, os blocos de betão lutam também com as carências de abastecimento de cimento.

Julga-se que se trata de um tipo construtivo a não abandonar, embora de muito difícil industrialização. A principal dificuldade reside na falta de materiais com características mecânicas adequadas a alvenarias resistentes. No que respeita à cerâmica, é conhecida a redução que se vem registando na sua qualidade, não havendo, neste momento, praticamente tijolos furados que possam ser aceites em alvenarias resistentes. Os blocos de betão poderão prencher esta lacuna, se forem produzidos com suficientes características de resistência mecânica e de estabilidade dimensional. Existem algumas produções com a qualidade necessária.

As dificuldades de abastecimento de cimento, que se pode prever irão durar ainda alguns anos, justificarão a sua substituição por cal, o que iria dar origem à produção de blocos sílico-calcários autoclavados, não aerizados. Trata-se duma tecnologia que vem tendo grande expansão em certos países da Europa Central e que permite a obtenção de materiais de qualidade adequada para alvenarias resistentes. Além de conduzir à substituição do cimento pela cal, de que o país tem disponibilidade, permite, em relação à cerâmica, uma significativa economia de energia de fabrico.

7.2 — Estrutura moldada em obra

Têm-se aqui em conta os processos de construção de estruturas laminares de betão armado constituídas por pavimentos e paredes moldadas em obra. São diversas as tecnologias usadas: cofragens independentes para paredes e pavimentos, cofragens-túnel e cofragens deslizantes.

No primeiro tipo de solução, as paredes são betonadas em fases alternadas com a moldagem dos pavimentos. Têm sido também usadas soluções com pavimentos prefabricados, o que exige disposições adequadas que assegurem boa ligação entre elementos verticais e horizontais.

Com as cofragens-túnel, sem dúvida a solução mais divulgada entre nós, realiza-se a betonagem simultânea das paredes e dos pavimentos. Permitem um elevado grau de industrialização desta fase da construção, com uma grande repetição de operações, rapidez de execução, economia de mão-de-obra e facilidade de montagem e desmontagem.

As cofragens deslizantes foram concebidas e aperfeiçoadas para a execução de obras diferentes das dos edifícios: silos, chaminés, pilares de pontes, etc. Eventualmente eram usadas na moldagem de núcleos centrais de edifícios de estrutura mista. Entretanto, resolvidos os problemas de controle simultâneo de um grande número de macacos hidráulicos, esta técnica vem-se utilizando com êxito na moldagem das paredes de edifícios. Em certos países, está a ser preferida à solução da cofragem-túnel. A maior dificuldade reside na inserção dos pavimentos, os quais podem ser prefabricados.

A comunicação de Rodrigues dos Santos [33] refere-se a este tipo construtivo, tendo em atenção sobretudo a utilização de cofragens-túnel. No entanto, a maior parte das considerações que apresenta são válidas para as diferentes tecnologias de execução.

O autor refere os aspectos relacionados com a concepção dos edifícios e que condicionam a obtenção dum elevado grau de industrialização, recomendando a racionalização dos elementos de equipamento a integrar nas paredes, e o recurso à prefabricação, não só das fachadas, mas também das divisórias interiores. Apresenta uma síntese dos critérios utilizados na análise estrutural, quer para a determinação dos esforços, quer para o dimensionamento das secções, chamando a atenção para a falta de regulamentação nacional relativa a armaduras mínimas a adoptar nas paredes. Trata os principais problemas de execução: características do betão para uma correcta betonagem, aceleração do endurecimento do betão e tempos de descofragem. Finalmente aborda algumas questões específicas de conforto e salubridade neste tipo de construções — conforto térmico, estanquidade à água e conforto acústico —, preconizando soluções para completamento das paredes exteriores, nas quais a lâmina de betão é insuficiente.

Almeida Anes [32], no seu trabalho sobre paredes de contraventamento, refere também estas soluções construtivas, tendo em conta sobretudo o funcionamento das paredes sob a acção das forças horizontais.

A comunicação de Gomes da Silva [29] desenvolve também algumas considerações de interesse prático sobre estas tecnologias.

7.3 — Painéis pesados prefabricados

Os sistemas de painéis pesados auto-portantes destinados a construção habitacional constituem a solução industrializada mais divulgada. Desenvolveram-se no após-guerra nos países europeus, inicialmente com maior rapidez nos de economia planificada e, posteriormente, também nos de economia de mercado. Actualmente, e após sucessivos aperfeiçoamentos, registam uma expansão a nível mundial. Em 1975, as 800 fábricas de painéis pesados da Europa permitiram a construção de cerca de 1,4 milhões de fogos, com esta tecnologia [25].

Entre nós, conforme já foi referido, existe um sistema de construção de edifícios em altura que labora há cerca duma dezena de anos. Entretanto, iniciaram recentemente a sua actividade na construção habitacional de pequeno porte, diversas outras empresas. Neste momento, regista-se uma tendência não só para a montagem de novas instalações industriais, mas também para a substituição da construção de pequeno porte por construção de porte médio.

Estes sistemas integram painéis para paredes exteriores, painéis para paredes interiores, resistentes ou simples divisórias, painéis para pavimentos, lanços de escada, e todo um conjunto de elementos complementares como blocos-água, consolas, cimalhas, etc. O seu fabrico pode ser feito em instalações fixas, em fábricas desmontáveis ou até em instalações simples, no estaleiro da obra. As soluções mais elaboradas são as das instalações fixas, cuja capacidade de produção atinge normalmente 1000 ou 2000 fogos anuais, embora se conheçam fábricas que atingem os 10 000 fogos anuais.

A moldagem dos painéis é em geral efectuada sobre moldes metálicos horizontais, fixos ou integrados em cadeias móveis, habitualmente com tratamento térmico para aceleração do endurecimento. Os painéis de parede podem ser moldados em baterias verticais, com as quais se obtém rendimentos muito elevados. Tem-se generalizado nestas fábricas a automatização de certas fases de trabalho e, nalguns casos, começam-se a introduzir mesmo sistemas de automação, isto é, de controle e regulação automáticos.

Nas soluções para paredes exteriores estão a ser usadas entre nós as duas técnicas mais clássicas: painéis-sanduíche de betão normal com uma camada intermédia de material de isolamento térmico, e painéis de betão de agregados leves, neste caso, de argila expandida. Tem-se verificado que este último tipo é normalmente pouco estudado, sendo pouco habitual a caracterização do betão utilizado.

Na montagem em obra, estes sistemas implicam equipamento de manobra, gruas ou pórticos, com capacidade muito elevada, pois o peso individual dos painéis atinge correntemente 4 ou 5 tf, e, nalguns casos chega mesmo às 10 tf.

Estas soluções construtivas implicam regras próprias de dimensionamento que se encontram, já há alguns anos, estabelecidas pela U.E.A.t.c. [7] e pelo C.E.B. [6]. Estas regras têm em conta não só a constituição dos painéis, mas também a forma como são executadas as suas ligações estruturais.

Almeida Anes apresenta, na sua comunicação [32], uma síntese dos principais problemas relativos à concepção e dimensionamento das paredes de contraventamento dos edifícios. Depois de referir os diversos tipos de acções horizontais, apresenta os modelos e métodos de cálculo que podem ser adoptados para as diferentes soluções construtivas. Este autor aborda o funcionamento dos vários tipos de paredes que podem ser consideradas no contra-

ventamento: paredes de alvenaria resistente atirantada, paredes de alvenaria de simples enchimento, paredes de betão armado moldadas em obra, paredes de painéis prefabricados resistentes e ainda paredes de painéis prefabricados de simples enchimento duma estrutura reticulada.

No que se refere às estruturas de painéis pesados prefabricados, que aqui nos interessam, o autor salienta a importância dos elementos verticais (montantes) e horizontais (cintas) na solidarização dos painéis para formar paredes de contraventamento. Descreve as várias soluções construtivas adoptadas para as ligações verticais entre painéis, referindo o seu comportamento estrutural.

Um dos problemas mais importantes nos edifícios de painéis pesados é o da estanquidade das juntas entre painéis exteriores. A sua concepção e execução implica os máximos cuidados. Hoje em dia são bem conhecidas as formas mais adequadas para estas juntas, os materiais a usar na sua vedação e os cuidados a assegurar na obra. A comunicação de Outeiro [28], relativa ao controle de qualidade promovido numa empresa de prefabricação, salienta os cuidados a ter na verificação das dimensões dos painéis, na sua montagem e na execução das juntas.

Na sua comunicação, Gomes da Silva [29] apresenta uma síntese sobre as construções de painéis pesados com que contactou em França. Inclui exemplos de painéis de pavimentos, de painéis resistentes interiores e de painéis de fachadas. Refere soluções à base de betão e soluções à base de tijolos cerâmicos. Apresenta uma série de pormenores de juntas horizontais e verticais entre painéis exteriores.

7.4 — Caixões prefabricados

Estes sistemas utilizam elementos tridimensionais, à base de betão armado, com larguras que variam entre 2,4 e 4 metros, e comprimentos entre 4 e 12 metros. Por sobreposição e justaposição, consegue-se construir edifícios de porte médio, conhecendo-se soluções que podem atingir 20 pisos de altura.

Podem ser considerados como a evolução dos elementos tridimensionais destinados a casas de banho e cozinhas. As primeiras experiências referem-se a construções de pequeno porte, nalguns casos destinadas a garagens.

O caixões, cujo peso pode atingir em certos sistemas as 90 tf, embora na maior parte dos casos esteja limitado a 20 tf, saem da fábrica completamente acabados por dentro, com divisórias, equipamentos e revestimentos. Na montagem, são ligados entre si com ligações estruturais e com ligações para as instalações. Em geral, há que colocar em obra os elementos secundários exteriores.

Na execução dos caixões de betão armado podem ser usadas diversas técnicas. Umas baseiam-se na montagem e ligação em fábrica de painéis moldados separadamente. Outras utilizam moldes de grandes dimensões que, embora por fases, permitem a moldagem completa dum caixão. Distinguem-se três processos de moldagem: vertical (tipo ««sino»), com um núcleo móvel suspenso (tipo «copo») e horizontal (tipo «copo deitado» ou «tubo»).

O comportamento estrutural destas construções está muito dependente das ligações adoptadas em obra. Os caixões podem apoiar uns sobre os outros por intermédio de «neoprene». São estabelecidas ligações mecânicas na direcção vertical e na horizontal. Para a direcção vertical, têm sido adoptadas ligações por pré-esforço, o que contribui para o contraventamento da construção. Este contraventamento pode ser também obtido com núcleos centrais de rigidez moldados em obra.

Os principais problemas levantados por este tipo construtivo, para além dos de fabrico, estão ligados ao transporte e montagem em obra. Efectivamente, o transporte exige não só veículos potentes mas também acessos adequados até aos locais de montagem. O equipamento de manobra em fábrica e no estaleiro atinge também potências muito elevadas e não usuais na construção de edifícios.

A primeira realização significativa por este processo teve lugar na exposição «Habitat 67», em Montreal. Desde então, desenvolveram-se em toda a Europa diversos sistemas nele baseados. Neste momento, tem-se conhecimento de divversos projectos para a sua introdução em Portugal.

8 — SOLUÇÕES MISTAS DE CONSTRUÇÃO PESADA

Neste capítulo, poder-se-iam considerar todas as combinações possíveis entre as várias tecnologias atrás referidas. Assim, podem-se referir soluções que associam estruturas reticuladas com estruturas parede, elementos prefabricados com elementos moldados em obra, construções pesadas com elementos leves. Sem se pretender ser sistemático, abordar-se-ão algumas das situações com mais interesse.

Um primeiro tipo de combinações diz respeito à associação de prefabricação com elementos moldados em obra. Trata-se duma solução que pode ter interesse quando existem, por exemplo, núcleos resistentes de estrutura laminar envolvidos por estruturas de painéis prefabricados ou por estruturas reticuladas prefabricadas. Outras vezes, numa construção prefabricada, existem zonas que interessa resolver por betonagem em obra, pois não apresentam um grau de repetição que justifique a sua prefabricação.

Naqueles casos, há que estudar cuidadosamente o comportamento conjunto de elementos executados com betões diferentes e de diferentes idades. São particularmente importantes as diferenças de comportamento reológico sob a acção das cargas permanentes. Deste ponto de vista, a boa solução seria que, em cada piso, a técnica de construção fosse a mesma, o que nem sempre é possível.

As associações com mais interesse são as de estruturas reticuladas com estruturas parede e destas entre si, formando um certo tipo de estruturas mistas *. Nelas se incluem as diversas combinações de estruturas parede com estruturas reticuladas moldadas em obra, com estruturas reticuladas prefabricadas, com estruturas de painéis pesados e ainda com estruturas de caixões prefabricados.

O núcleo é geralmente executado numa primeira fase da construção, utilizando cofragens tradicionais ou industrializadas, incluindo nestas as cofragens deslizantes, e nele se localizam os acessos verticais do edifício. O seu monolitismo contribui significativamente para a resistência às acções horizontais.

São diferentes os níveis de monolitismo conferidos pelas diversas soluções construtivas. O monolitismo cresce quando se passa das estruturas reticuladas prefabricadas com nós articulados, às estruturas reticuladas com nós contínuos, às estruturas mistas de elementos reticulados e elementos parede, às estruturas de painéis pesados, até às estruturas moldadas em obra.

Já foi referida a comunicação de Almeida Anes [32] relativa a paredes de contraventamento. Este autor aborda também os problemas postos pelas estruturas mistas, detendo-se mais em pormenor sobre a possível participação dos painéis prefabricados simplesmente autoportantes no comportamento, perante acções horizontais, das estruturas reticuladas em que se inserem. Conduz a solução da questão para a análise de casos típicos, definidos de acordo com a natureza das ligações entre os painéis e a estrutura, e propõe a realização de estudos experimentais apropriados.

9 — SISTEMAS LEVES

Não parece oportuno, no âmbito deste relato, dar aos sistemas de construção leve o desenvolvimento que seria necessário face à divulgação que estas soluções construtivas estão a ter entre nós nos últimos anos e à dimensão dos problemas que daí resultam. Efectivamente, não foi apresentada qualquer comunicação sobre sistemas leves, para além duma breve referência de Gomes da Silva [29] sobre a situação francesa.

Já se referiu a evolução mais recente deste tipo de construção em Portugal. É já significativo o número de empresas que se dedicam a esta actividade — da ordem das duas dezenas —, embora quase todas com uma produção muito pequena.

De entre os materiais utilizados nestas construções, em estruturas, painéis e caixilharias, salienta-se a madeira e os seus derivados: contraplacados e aglomerados de partículas ou de fibras. A madeira nacional mais usada é a de pinho.

É geralmente aceite que a madeira de pinho é adequada a este tipo de construção, tendo-se até notícia de que está a ser usado pinho português na produção de casas leves em certos países europeus. A utilização do pinho implica alguns cuidados, dos quais se destaca uma boa escolha, com controle dos defeitos e do teor de humidade na altura em que é trabalhado. É possível garantir suficiente durabilidade, desde que submetido a um tratamento prévio contra a acção de fungos e insectos, e desde que a pormenorização evite o acesso de humidade, em especial a humidade do solo.

Na ligação entre peças de madeira, além dos pregos e dos parafusos, estão a ser usados, cada vez com mais interesse, os ligadores metálicos.

Quanto aos materiais metálicos, utiliza-se fundamentalmente o aço, quer em estruturas, quer em painéis. Usam-se estruturas metálicas constituindo montantes, travessas ou asnas, associadas ou não a outros materiais. Os elementos estruturais podem ser executados com perfilados ou com chapa quinada. A chapa é utilizada também na constituição dos paramentos de painéis para paredes e tectos.

Além do aço, utiliza-se, em menor grau, o alumínio, material que em princípio deveria ser desaconselhado na construção, dado o seu elevado custo energético. É usado sobretudo em caixilharias, em chapas de cobertura e como estrutura de elementos secundários. Conhecem-se tentativas da sua utilização em elementos estruturais principais.

O fibrocimento emprega-se em chapas e canaletes de cobertura, em forros de painéis de parede, em painéis de tectos e em painéis de paredes interiores nas zonas de águas.

Os plásticos têm alguma utilização nas construções leves, em caixilharias, no revestimento de painéis metálicos e de madeira, em blocos-águas. Embora não se usem ainda entre nós, conhecem-se soluções de painéis rígidos de materiais plásticos.

Mas a grande utilização dos plásticos na construção leve é nos isolamentos térmicos: poliestireno expandido, espuma de poliuretano e espumas fenólicas.

Outros materiais utilizados como isolantes são a lã de rocha, particularmente lã de basalto, a lã de vidro, que actualmente é importada, o aglomerado negro de cortiça e as placas de aparas de madeira mineralizadas e aglomeradas com cimento (lã de madeira).

As construções leves integram também, frequentemente, elementos de gesso: painéis de gesso reforçado com fibras vegetais e painéis de gesso cartonado («plasterboard»).

As instalações fabris para a produção destes sistemas utilizam equipamento corrente nos respectivos sectores industriais. Assim, no trabalho da madeira, usam-se máquinas ferramentas, prensas para colagem e cravação, instalações de tratamento

(*) De acordo com a NP 176 — «Vocabulário de Teoria das Estruturas», «estrutura mista» é uma estrutura reticulada em que existem nós de articulação e nós de estrutura contínua. Não é este o conceito aqui adoptado.

da madeira: túneis de aspersão e autoclaves. Na construção metálica, além das máquinas ferramentas, são importantes as prensas para quinar e moldar chapa. Algumas fábricas incluem sistemas automatizados para o fabrico dos componentes. Também neste caso é possível falar em automação.

As tecnologias de prefabricação leve permitem obter um elevado nível de industrialização. Não só a parte prefabricada pode atingir valores da ordem de 80 % do total da construção, como a produtividade do pessoal operário pode elevar-se até valores da ordem de 4 ou 5 horas-operário/m².

Em certas regiões e climas as construções leves atingem, neste momento, uma grande expansão, particularmente na América do Norte. O seu êxito baseia-se na grande mobilidade da população activa norte-americana e no facto de os utentes-proprietários se contentarem com um bem de consumo de duração reduzida. As construções conhecidas por «mobile home», transportadas praticamente concluídas da fábrica para o local definitivo, atingiram já um volume da ordem de alguns milhões de fogos nestes últimos anos, traduzindo actualmente cerca de metade da produção americana de casas leves. Neste caso, uma organização perfeita das cadeias de fabrico e de montagem assegura uma elevadíssima produtividade, da ordem de 3 horas-operário/m². Em Portugal surgiu já este tipo de construção.

As construções leves, embora sejam bastante adequadas a climas frios, apresentam inconvenientes na maior parte do território português. Efectivamente, a sua reduzida inércia térmica não lhes permite oferecer suficiente conforto de Verão em zonas em que as temperaturas e a radiação solar atingem valores elevados, como acontece em certas regiões de Portugal. Níveis satisfatórios de conforto, em tais condições, só poderão ser obtidos à custa de condicionamento de ar, o que é inaceitável do ponto de vista económico.

As construções leves apresentam ainda, na maior parte dos casos, problemas de segurança ao fogo, os quais são minimizados pelo facto de estas construções terem normalmente pequeno porte: um ou dois pisos. Usam-se tratamentos ignífugos da madeira e revestimentos protectores para a madeira, os metais e os plásticos.

A principal vantagem das construções prefabricadas leves reside no elevado grau de prefabricação, associado à facilidade de transporte para locais afastados do centro produtor, ou de difícil acesso, e ainda à rapidez de montagem. Deste modo é possível a sua movimentação entre países afastados, tornando-se um artigo do comércio internacional.

A rapidez de montagem e ainda a facilidade de desmontagem e recuperação de alguns sistemas, torna-os adequados à construção provisória, de emergência e recuperável.

Uma apreciação global da situação portuguesa neste domínio mostra que a maior parte da produção se refere a soluções que não satisfazem mínimos de qualidade, particularmente quanto à sua durabilidade, e que estão a ser usadas em regiões cujo clima de verão tem características excessivas para este tipo construtivo. A sua utilização deveria ficar reservada a uma faixa litoral mais amena e às zonas altas, bem como à construção de emergência e recuperável. A exportação de construções de qualidade deverá ser fomentada.

A concluir, faz-se uma referência à prefabricação semi-leve, ou seja, aos sistemas com concepção análoga à dos sistemas leves mas em que alguns elementos de construção, pavimentos, paredes exteriores ou outros, são resolvidos com soluções de betão ou outras análogas. Assim se consegue um aumento de inércia térmica e de massa global, o que tem vantagens quanto a conforto de Verão e a isolamento sonoro.

10 — CONCLUSÕES

Da exposição anterior e das comunicações apresentadas não é fácil extrair um conjunto sintético de conclusões. Efectivamente o tema é demasiado vasto e exigiria uma análise muito mais profunda, incompatível com um trabalho desta natureza. Por outro lado, algumas das questões imbricam com os assuntos tratados nos outros relatos deste tema. Em todo o caso, pareceu conveniente adiantar as seguintes conclusões:

a) A indústria de construção de edifícios em Portugal iniciou uma fase de evolução tecnológica no sentido duma maior produtividade e utilizando uma crescente industrialização;

b) Seguindo os exemplos externos, as tecnologias usadas acompanham, com algum atraso, a evolução que se vem registando na Europa;

c) A dependência tecnológica em relação ao exterior não parece atingir ainda um nível inquietante, dado o evidente interesse em manter o intercâmbio internacional;

d) A evolução tecnológica, particularmente o recurso à prefabricação, não tem sido suficiente para uma efectiva industrialização da construção, em virtude da falta de racionalização, particularmente nos aspectos de normalização e tipificação;

e) As acções de industrialização têm conduzido, paradoxalmente, a uma degradação de qualidade da construção produzida, resultado dum conjunto de circunstâncias que tem rodeado a sua promoção;

f) Torna-se necessário fomentar e intensificar acções tendentes a assegurar níveis de qualidade mínimos;

g) Importa prosseguir os estudos sobre novas soluções tecnológicas, alguns dos quais foram apontados nas comunicações apresentadas;

h) A prefabricação leve deverá ser utilizada, em habitação, nas aplicações para as quais tem vocação: zonas de clima de Verão moderado, construção provisória, construção de emergência, exportação.

11 — TEMAS PARA DEBATE

Além das considerações apresentadas a título de conclusões, propõem-se ainda, para reflexão e debate, as questões a seguir enunciadas. Trata-se, como seria de esperar, de questões que se prendem mais com as perspectivas futuras do que com o passado ou até com o presente. Procurou-se sistematizar estas questões segundo o tipo de organismo o que mais poderá interessar a resposta, para a orientação da sua actividade. Assim:

Em relação à Administração

a) A industrialização da construção poderá prosseguir em segurança com o tipo de planeamento da construção actualmente existente?

b) De que modo poderá a evolução tecnológica, já iniciada, ser influenciada por estímulos de natureza fiscal, de crédito ou de seguros?

c) A melhor compreensão do que se passa com as tecnologias de construção de edifícios implica melhores estatísticas?
O que interessa explicitar?

d) Deverá ser melhorada e completada a regulamentação e normalização da construção? Que tipo de regulamentos e de normas?

Em relação aos organismos de ensino e investigação

e) Qual deve ser a contribuição das escolas, particularmente as de ensino superior, para a divulgação e aperfeiçoamento das tecnologias de construção?

f) Qual o papel dos cursos de formação profissional e de reciclagem? Qual o seu conteúdo? Quem os deverá promover?

g) O que se espera de organismos de investigação como o LNEC? Documentação e divulgação? Estudo e promoção de novas tecnologias? Acções de apreciação e homologação? Projectos de regulamentos e de normas? Colaboração no controle de qualidade? Quais as actividades mais urgentes?

Em relação aos organismos públicos promotores de habitação

h) Compete a estes organismos fomentar a industrialização da construção? Por que vias?

i) São os actuais métodos de consulta às em-empresas pouco incentivadores da industrialização? Ou, pelo contrário, favorecem uma industrialização de baixa qualidade? Como corrigir?

j) É viável alguma acção concertada destes organismos com os industriais da construção, para a tipificação de soluções ou mesmo para o desenvolvimento de sistemas abertos?

k) Constituirá o estudo de protótipos uma solução para a evolução no sentido duma maior industrialização que assegure níveis mínimos de qualidade?

l) Terá interesse o estabelecimento de contratos-programa com empresas de construção industrializada?

Em relação às empresas de construção de habitação

m) Poderão as empresas melhorar o nível tecnológico e a racionalização dos seus processos? Com recurso a gabinetes técnicos próprios? Desenvolvendo tecnologias adaptadas às condições locais?

n) Torna-se necessário aumentar o número actual de instalações de prefabricação? Ou será mais conveniente a ampliação e remodelação das já existentes?

o) Quais as tecnologias que se pensa serão mais adaptadas às actuais condições portuguesas? As soluções tradicionais de alvenarias resistentes para os edifícios de pequeno porte e as de estrutura de betão armado para os outros edifícios, devidamente racionalizadas? A prefabricação por grandes painéis pesados? A construção baseada nas estruturas laminares de betão armado moldado em obra? A prefabricação de grandes unidades tridimensionais?

p) Deverão ser criados esquemas legais que responsabilizem mais eficazmente os construtores pelos defeitos da construção, sobretudo os que afectam a segurança, a salubridade e a durabilidade?

Em relação aos fabricantes de materiais e elementos de construção

q) Quais os materiais cuja carência de produção nacional está condicionando o processo de industrialização? Os materiais tradicionais como os cimentos, o fibrocimento, os aços correntes, a cerâmica, a madeira e os seus derivados? Ou materiais novos, como novos tipos de cimento — de presa mais rápida e de maior resistência —, novos tipos de aço — aço de pré-esforço, aços inoxidáveis, outros aços especiais —, elementos metálicos para suspensão e fixação, agregados para betões leves, plásticos, materiais de isolamento térmico?

r) E quanto aos equipamentos? Torna-se necessário incentivar a produção nacional de gruas e pórticos, cimbres e cofragens industrializadas, máquinas ferramentas, moldes e mesas para prefabricação, vibradores, autoclaves, prensas?

s) Será necessário incentivar a produção, normalizando e tipificando, de elementos de construção por catálogo: elementos para pavimentos, painéis de fachadas, divisórias, caixilharias, etc.?

t) As taxas de juro que afectam as indústrias de capital-intensivo poderão desincentivar novas produções, comprometendo o processo de industrialização?

BIBLIOGRAFIA

[1] — **Instituto Nacional de Estatística.** Lisboa — «Estatísticas da Construção e da Habitação». Lisboa, 1970 a 1976.

[2] — **Instituto Nacional de Estatística.** Lisboa — «Estatísticas Industriais». Lisboa, 1970 a 1976.

[3] — **Organização das Nações Unidas.** New York — «Annual Bulletin of Housing and Building. Statistics for Europe United Nations». New York, Vols. XV a XIX.

[4] — **Organização das Nações Unidas.** New York —«Trends in the industrialization of building». New York. 1970.

[5] — **Organização das Nações Unidas.** New York — «Principes directeurs des politiques et mesures gouvernementales à appliquer pour industrialiser progressivement la construction». New York, 1974.

[6] — **Recomendações C. E. B.** — «Recommendations Pratiques Unifiées pour le Calcul et l'Exécution de Constructions par Panneaux Assemblés de Grand Format». L'Industria Italiana del Cemento, suplément extraordinaire au n.º 8, Roma, 1969.

[7] — **Directivas UEAtc** — «Directives Communes pour l'Agrément des Procédés de Construction par Grands Panneaux Lourds Prefabriqués». Cahiers du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, Livraison 80, Cahier 696, Paris, Juin 1966.

[8] — **Directivas UEAtc** — «Directivas Comuns para a Homologação de Casas Leves. Directivas Complementares para a Homologação de Casas Leves de Madeira». Tradução n.º 478, LNEC, 1972.

[9] — **Centre Scientifique et Technique du Bâtiment.** Paris — «Parois et Murs en Béton Banché». Document Technique Unifié n.º 231, C. S. T B., Octobre 1975.

[10] — **Centre Scientifique et Technique du Bâtiment.** Paris—«Planchers dalles pleines confectionnés a partir de dalles prefabriquées et de béton coulé en oeuvre». C. S. T. B., Paris, 1976.

[11] — **Lewicki, B.** — «Bâtiments d'habitation préfabriqués de grandes dimensions». Paris, Ed. Eyrolles, 1965.

[12] — **Lugez, J.** — «La Préfabrication lourde en panneaux et le bâtiment d'habitation». Paris, Ed. Eyrolles, 1973.

[13] — «International Symposium on Box-Unit Construction». Balatonfüred, 1973, C. I. B. Proceedings n.º 26.

[14] — **Centre Scientifique et Technique du Bâtiment.** Paris — «Entretiens sur la mécanisation et l'automatisation des fabrications dans le bâtiment». Cahiers du C.S.T.B., Cahier n.º 1255, Juil/Aout 1974.

[15] — **Ordoñez, J. A. F.** — «Prefabricacion. Teoria y prática». Barcelona, Ed. Técnicos Associados, 1974.

[16] — **Blachère, G.** — «Technologies de la construction industrialisée». Paris, Ed. Eyrolles, 1975.

[17] — **Ruy Gomes** — «Situação da prefabricação de pavimentos para edifícios em Portugal». Comunicação ao Colóquio sobre Prefabricação. Boletim da Ordem dos Engenheiros, Lisboa, 1968.

[18] — **Vandenkerckhove, M.**—«L'industrialisation du bâtiment en France». Europrefab. Lucerne, 1972.

[19] — **Teixeira Trigo, J. A.** — «Edifícios Prefabricados». Curso de Especialização 144. Lisboa, LNEC, 1974.

[20] — **Teixeira Trigo, J. A.** — «Análise da evolução da construção de paredes de Edifícios». Relatório, Lisboa, LNEC, 1976.

[21] — **Teixeira Trigo, J. A.** — «Industrialização da construção de edifícios». Relatório, Lisboa, LNEC, 1976.

[22] — **L. N. E C.** — «Relação de empresas de prefabricação». Relatório, Lisboa, LNEC, 1976.

[23] — **Comité Euro-International du Béton** — «Code--Modéle pour les Srtuctures en Béton» (3.º project). C. E. B., Bulletin d'Information 117--F, Paris, 1976.

[24] — **Via, Giovanni** — «Carattere evolutivo nella tipologia delle strutture portanti in cement armato degli edifici». Atti delle Giornati A. I. C. A. P. 1975, Sanremo Notiziario A. I. C. A. P., Roma, Aprile 1977.

[25] — **Plessein, B. D.** — «Construction des immeubles en béton armé prefabriqué et travaux de recherches au stade actual (W19)». Proceedings of the 7th CIB Congress. Edinburgh. Vol. 1. The Construction Press, Lancaster, 1977.

[26] — **Blach, K.** — «Modular co-ordination (W24)». Proceedings of the 7th CIB Congress. Edinburgh. Vol. 1. The Construction Press, Lancaster, 1977.

COMUNICAÇÕES ao Congresso 77
da Ordem dos Engenheiros — Lisboa, 1977
(Tema 2/sub-tema 2)

[27] — **Teixeira Trigo, J. A.** — «Industrialização e qualidade da construção». Comunicação n.º 2/ /001. «Técnica» n.º 445/446, Dezembro 1977/ /Janeiro 1978, Lisboa.

[28] — **Francisco Outeiro**—«Controle da qualidade de produção na prefabricação pesada». Comunicação n.º 2/003.

[29] — **Gomes da Silva, A. J. G.** — «A industrialização da construção em França, aplicada à habitação». Comunicação n.º 2/005.

[30] — **Pinheiro Carrilho, A. F.; Dominguez Cuña, M.** — «Notas sobre um processo de execução de estruturas reticuladas de betão armado por componentes prefabricados, integrado na coordenação dimensional modular». Comunicação n.º 2/006.

[31] — **Pompeu dos Santos, S.** — «Ligações em estruturas prefabricadas de betão». Comunicação n.º 2/007. «Técnica» n.º 445/446, Dezembro 1977/Janeiro 1978, Lisboa.

[32] — **Almeida Anes, A. A.** — «Paredes de contraventamento». Comunicação n.º 2/011.

[33] — **Rodrigues dos Santos, L.** — «Edifícios de estrutura laminar». Comunicação n.º 2/017.

[34] — **Veiga Lagoa, G.; Figueiredo Dias, J.** — «Um caso de aplicação de elementos prefabricados na industrialização da construção». Comunicação nº 2/019.

(CONTINUAÇÃO)

NOTICIARIO

★ AUMENTAM OS PREÇOS DO FERRO E DO AÇO

Os preços do ferro e do aço sofreram um agravamento da ordem dos 20 % de acordo com um despacho das Secretarias de Estado da Indústria e do Comércio recentemente publicado. As razões aduzidas nesse despacho fundamentam-se na necessidade de auto-financiamento da Siderurgia Nacional e, ainda, de acompanhar os preços e paridade de cotações dos países da Comunidade Europeia do Carvão e do Aço.

Os novos preços passam a ser os seguintes: varão para betão — 10 500$00 a tonelada; barras comerciais — 12 000$00 ton.; perfis — 12 300$00 ton.; fio laminado — 12 000$00 ton.; chapa laminada a frio — 15 000$00 ton.; chapa galvanizada — 17 000$00 ton.; e folha de flandres 5400$00 cada 100 m².

Os extras destes produtos siderúrgicos sofrem uma actualização de 15 %, com excepção do extra de qualidade do varão para betão, que se mantém em 9000$00 ton.; e dos extras de revestimento de estanho da folha de flandres, que sobem 20 %.

★ L. N. E. C. CRIOU MODELO MATEMÁTICO DE PREVISÃO DE RUÍDOS DE TRÁFEGO

Após dois anos de pesquisa, técnicos do L. N. E. C., em colaboração com a Comissão Nacional do Ambiente, criaram um «modelo matemático» de previsão dos ruídos de tráfego, actualmente considerado, em vários países, como elemento fundamental para o trabalho do projectista.

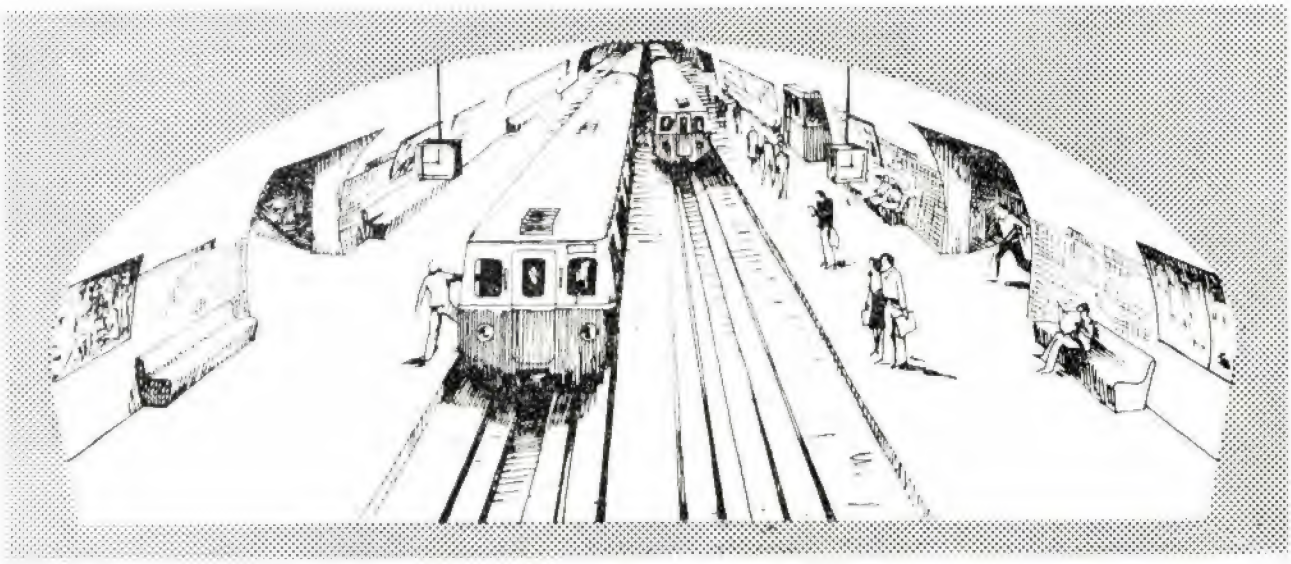
O referido modelo permite, por recurso aos processos de cálculo automático, ensaiar diversas situações de tráfego, calculando as características do ruído produzido com resultados bastante aproximados da realidade.

Assim, sempre que se projecta a urbanização de uma região ou a construção de uma escola ou hospital, a utilização do «modelo matemático» permite encarar soluções que salvaguardem o ambiente acústico dos utentes e a escolha dos materiais e processos de construção.

Uma das características deste modelo é a extrema facilidade com que pode ser utilizado, uma vez que é intenção do L. N. E. C. tornar bastante acessível a aquisição dos respectivos cartões perfurados.

(Informação do «Jornal de Notícias» de 9-2-78)

(Continua na pág. 491)



PARA:

ECONOMIZAR ENERGIA
COMBATER A POLUIÇÃO
POUPAR TEMPO
DEVOLVER AO PEÃO OS ESPAÇOS DE QUE CARECE

METROPOLITANO

UMA SOLUÇÃO EFICAZ
NO DOMINIO DOS TRANSPORTES
COLECTIVOS URBANOS

METROPOLITANO DE LISBOA

C. D. U. 174:627.89.007.1

Acidentes em obras de engenharia civil e a responsabilidade dos engenheiros

O caso da barragem de Teton

ANTÓNIO JOSÉ CORREIA MINEIRO
Eng.º Civil (I. S. T.), M. Sc., D. I. C.
Doutor em Engenharia

RESUMO

A propósito do colapso da barragem de terra de Teton, ocorrido nos Estados Unidos da América, em Junho de 1976, e atribuído a deficiências de concepção e projecto, tecem-se considerações sobre as responsabilidades do engenheiro civil no exercício da sua profissão.

Salienta-se a obrigação das Universidades em conferir adequada formação técnico-científica, necessariamente interdisciplinar, e em incutir espírito de responsabilidade e integridade para o futuro exercício da profissão.

Comenta-se o problema da segurança de barragens, em especial de terra, e a necessidade das entidades oficiais responsáveis estabelecerem critérios mínimos de segurança adequados a tal tipo de obras.

Apresentam-se em anexo extratos das conclusões principais do relatório da comissão de inquérito ao colapso da barragem de Teton.

SUMMARY

Related to the collapse, atributed to design deficiencies, of Teton dam in United States, in June 1976, comments are made upon engineering responsability of civil engineers in their professional work.

The University duties in providing for technical and cientific qualification, necessarily multy-disciplinary, as well as in inculcating engineering responsability and integrity sense, for the future professional work, are emphasized.

Comments on dam's safety, particulary earth dams and on the need for suitable safety criteria, are made.

Extracts from the principal conclusions of Teton dam failure report are presented in appendix.

1 — O COLAPSO DA BARRAGEM DE TETON, SUAS CAUSAS E RESPONSABILIDADES DOS ENGENHEIROS PERANTE A COMUNIDADE

O colapso da barragem de terra de Teton (alturas máximas de 95 m sobre o leito do rio, e de 125 m sobre o ponto mais baixo da fundação), ocorrido em Junho de 1976 no estado de Idaho nos Estados Unidos da América, constitui, na história dos desastres da Engenharia Civil, um dos mais importantes, não só propriamente pelos danos causados (catorze mortos, oitenta feridos e cerca de trinta milhões de contos de prejuízos materiais) mas pelo impacto psicológico sobre todos os que têm a responsabilidade de conceber e projectar obras de engenharia cujo colapso ponha em risco vidas e avultados bens da Comunidade.

Catástrofes como esta fornecem sempre ensinamentos preciosos do ponto de vista técnico, mas as condições especiais que levaram a barragem de Teton à rotura, essencialmente por deficiências na concepção e projecto, alertam a Comunidade para as responsabilidades do exercício da profissão de Engenheiro Civil, em todos os seus aspectos.

É numa situação destas que facilmente se podem pôr em causa os sistemas que permitem conferir, com maior ou menor facilidade aos engenheiros civis, a possibilidade de se tornarem agentes de destruição pela sua incompetência acumulada, quer durante a sua formação escolar, quer ao longo dum exercício da profissão em estagnação técnica e científica.

Perante as consequências duma catástrofe desta natureza as Universidades devem interrogar-se sobre a sua própria missão de formar futuros engenheiros.

Manuscrito recebido para publicação em 19/1/78.

E não bastará preocuparem-se apenas em criar condições para conferir adequada formação técnico-científica, pois é indispensável despertar sentidos de responsabilidade e integridade, sem os quais o exercício da profissão pode ocasionar danos importantes à Comunidade.

O caso de Teton vem esclarecer de forma clara que a responsabilidade não cabe às instituições, mas aos indivíduos que delas fazem parte, e mostra também que o exercício da profissão de engenheiro exige um estado de espírito responsável que não pode, nem deve, diluir-se ou camuflar-se por detrás do peso das instituições.

Com efeito, a barragem de Teton foi concebida e projectada pelo United States Bureau of Reclamation, instituição com cerca de 80 anos de existência que projectou e promoveu a construção de mais de 250 barragens de terra, sem nunca ter tido um acidente grave.

A sua larga experiência não pôde contudo evitar que a concepção e o projecto da barragem de Teton tivessem graves deficiências.

Não se conhecendo em pormenor a instituição e a sua forma de trabalho é difícil explicar tais deficiências, mas por analogia com outras grandes instituições não custa admitir que as responsabilidades individuais se diluam nas colectivas, tornando-se difícil controlar as que decorrem com carácter interdisciplinar.

É de temer que, com especializações em domínios cada vez mais limitados dos técnicos que trabalham em equipa, os problemas de fronteira se tornem os mais críticos.

Especulando um pouco com o caso de Teton poderia dizer-se que os estudos geológicos, geotécnicos, hidráulicos e estruturais eram de qualidade técnica apreciável. Mas se os geólogos da equipa não dominam suficientemente os mecanismos de possíveis erosões internas dos solos, se os geotécnicos não se apercebm que lidam com solos de natureza eólica de baixa resistência à erosão interna e adoptam critérios usuais para outros tipos de solos; se os hidráulicos não sentem a necessidade de controlar a percolação da água na fundação com dispositivos adequados; se os estruturais não alertam a equipa para o mecanismo de deformação da barragem que pode levar à formação do efeito arco na trincheira de fundação, pondo os materiais em risco de fracturação hidráulica; e se por fim o chefe de equipa não sente em conjunto toda a problemática e as suas carências interdisciplinares, então falha a equipa e o colapso da barragem pode ocorrer.

Terá sido este o mecanismo que gerou as deficiências do projecto? Julgo que só os próprios o saberão e poderão avaliar a sua quota parte de responsabilidade.

Sobre o colapso da barragem de Teton, não se fazem aqui quaisquer descrições, reportando o leitor para o artigo do Prof. Laginha Serafim, «Desastres de barragens em 1976 — o caso de Teton», publicado na «Técnica», n.º 443 (Outubro 1977).

O artigo está suficientemente bem documentado para se poder avaliar da extensão e cronologia do colapso da barragem.

Julga-se porém que, para quem trabalhe no campo das barragens de terra e para os geólogos e geotécnicos em geral, será do maior interesse conhecer as conclusões principais do relatório da comissão de inquérito publicado em Dezembro de 1976.

O extenso relatório denominado «Report to U. S. Department of The Interior and State of Idaho on failure of Teton Dam by Independent Panel, to review cause of Teton Dam Failure», contém doze capítulos, sete apêndices, uma síntese e conclusões.

São estas conclusões que se apresentam em anexo, por vezes com omissões de pormenores, considerados secundários.

A comissão de inquérito constituída por dez técnicos independentes (W. L. Chadwick, A. Casagrande, H. A. Coombs, M. W. Dowd, E. M. Funk, R. K. Higginson, T. M. Leps, R. B. Peck, H. B. Seed e R. B. Jansen) chegou à conclusão de que o colapso da barragem resultou seguramente de fenómenos de erosão interna, atribuíveis a dois mecanismos, funcionando separadamente ou em conjunto.

Um deles resultou da percolação da água na interface com a rocha de fundação ou através do aterro que preenchia a trincheira corta-águas (não protegida por filtros) e o outro por fracturação hidráulica do material de preenchimento da mesma trincheira.

Os siltes argilosos não plásticos ou pouco plásticos, de origem eólica, utilizados no preenchimento da trincheira corta-águas e núcleo da barragem eram altamente erodíveis. O uso de tais materiais colocados contra a rocha fracturada de fundação era totalmente desaconselhado, a não ser que complementado por filtros adequados.

A configuração da trincheira corta-águas, muito profunda e estreita, nas zonas das encostas, era favorável à criação de efeitos arco, que reduzindo o campo de tensões, em especial em facetas verticais na direcção da percolação, permitia fenómenos de fracturação hidráulica (pressão da água superior à menor tensão horizontal) no aterro da trincheira.

A comissão concluiu que as difíceis condições de fundações exigiam uma maior capacidade, experiência e um julgamento mais crítico na avaliação do comportamento da barragem, e que uma infeliz concepção dos dispositivos de controlo da percolação, conjugada cm precauções inferires às convencionais, deram origem ao colapso da barragem de Teton.

Em resultado do inquérito, o director, Harold G. Arthur, do departamento de Projectos e Construções do United States Bureau of Reclamation, demitiu-se, mas anteriormente numa conferência de imprensa o Secretário do Interior, C. D. Andrus havia afirmado: «Eu não vou aceitar um erro institucional como causa do desastre de Teton. Em análise final são os indivíduos e não as instituições que se devem responsabilizar. Se as pessoas directa-

mente envolvidas neste projecto ainda continuam ao serviço do Bureau of Reclamation, eu procurarei que se demitam ou serão despedidas».

Entretanto o Departamento do Interior está a utilizar pela primeira vez a colaboração de engenheiros consultores privados para proceder a uma revisão independente dos projectos de barragens do Bureau of Reclamation, tendo começado por sete barragens quase terminadas e em fase de enchimento das albufeiras.

Muito recentemente o governo americano determinou uma apreciação independente do nível tecnológico dos organismos federais responsáveis pelo projecto e manutenção de barragens com vista à introdução de aperfeiçoamentos que permitam melhorar a segurança das obras.

A apreciação e revisão da tecnologia de barragens vai ser conduzida por uma junta de consultores constituída por consagrados especialistas e para a qual foi convidado o Prof. Manuel Rocha no domínio das barragens de betão e mecânica das rochas.

2 — A FORMAÇÃO INTERDISCIPLINAR DOS ENGENHEIROS. O PAPEL DA UNIVERSIDADE

No campo da engenharia civil a responsabilidade dos engenheiros tem um carácter muito complexo. A natureza interdisciplinar dos projectos exige um trabalho de equipa em que as tomadas de decisão se tornam multicondicionadas, e em que o chefe da equipa com a responsabilidade última se vê obrigado a confiar em especialistas de campos muito diversificados. Tais campos que vão desde a topografia, hidrologia, sismologia, geologia, geotécnia, propriedades dos materiais, análise estrutural, critérios de segurança, estatística, métodos construtivos e economia dos processos executivos, e que passam pela engenharia do ambiente com todos os seus condicionamentos ecológicos, exigem da equipa e do seu chefe uma cultura técnico-científica ampla para viabilizar o equilíbrio das soluções e reduzir a um mínimo os efeitos das carências interdisciplinares.

Na própria Universidade se sentem desde logo tais carências, pois funcionando as disciplinas quase independentemente sob a responsabilidade de cada professor, não existe, em geral, um sistema que conduza os professores e alunos à utilização coordenada dos conhecimentos ministrados. E se os professores, especializados em âmbitos cada vez mais restritos, se divorciam da prática do exercício directo da profissão de engenheiro civil, o que parece ser a tendência actual na nossa Universidade, não será de estranhar que, por falta de vivência de situações concretas, não consigam incutir aos seus alunos (cuja maioria se destina ao exercício da engenharia e não ao professorado) o espírito necessário às tomadas equilibradas de decisão em projecto ou em obra.

Acontece ainda que se dispõe actualmente de meios de cálculo muito poderosos podendo facilmente recorrer-se a computadores electrónicos poderosos e a métodos analíticos perfeitos. Os engenheiros têm pois que estar suficientemente aptos a interpretar com segurança os resultados obtidos e têm de dispor de sensibilidade interpretativa e julgamento crítico adequados, pois os elementos de base que utilizam são a maior parte das vezes multidisciplinares e de difícil controlo. É essencial que se concentrem mais no estudo daqueles elementos que na realidade possam ser os mais críticos para o comportamento das obras, em vez de dispender demasiadamente o seu esforço em aperfeiçoar técnicas de cálculo analítico. É infelizmente vulgar ver os engenheiros procurar sossegar a sua consciência profissional recorrendo apenas a métodos de cálculo complexos, mas falhando perigosamente ao utilizar como dados grandezas traduzindo propriedades dos materiais, ou extraídas de tabelas ou fornecidas por estudos similares ou por outros técnicos. Estes, não estando totalmente envolvidos na responsabilidade, não podem estar cientes das consequências duma utilização imprópria da quantificação de tais propriedades.

A este respeito chega a haver entidades oficiais e particulares em que projectar quase se resume a solicitar pareceres ou estudos restritos a especialistas e juntar tais elementos organizando um processo, dito «projecto».

Os especialistas colaboradores chegam a desconhecer-se entre si e a não saber se os seus pareceres foram discutidos ou tidos em consideração.

Se as entidades «responsáveis» não possuirem técnicos capazes de fazer uma análise crítica dos elementos fornecidos pelos colaboradores especialistas, correm o risco ou de cometer graves atentados à economia ou originar acidentes mais ou menos graves.

Para tais entidades o caso de Teton será um aviso importante para corrigirem a tempo a sua metodologia de trabalho, pois em caso de acidente grave certamente que as condições em que decorreram tais estudos serão esclarecidas e apuradas as respectivas responsabilidades individuais.

3 — A RESPONSABILIDADE DOS ENGENHEIROS CIVIS PERANTE A COMUNIDADE

Os técnicos envolvidos na concepção e projecto de obras de engenharia não podem permitir que a sua formação se torne obsoleta em relação à evolução da técnica e ciência. Faz parte dos seus deveres não só perante as instituições de que fazem parte, mas também perante a Comunidade, o de contribuir para o desenvolvimento da ciência e arte da engenharia. Não podem também ignorar ou não acompanhar as evoluções recentes da técnica e da ciência, mas é essencial nestes casos empregar, com base na experiência, margens de segurança adequadas, para evitar acidentes que resultem de factores inesperados ou acidentais que incluam evidentemente imponderáveis ou falhas humanas.

O engenheiro civil tem responsabilidade moral e legal perante a Comunidade o que implica que ele deve actuar com integridade, considerando não só a finalidade particular do seu projecto, mas também as suas últimas consequências sobre a Comunidade. O primeiro objectivo é conseguir segurança, mas ao mesmo tempo ele é responsável, perante a Comunidade, pelo custo das obras que concebe. Há sempre um limite para a economia do investimento, e assim o engenheiro trabalha condicionado pelo custo e pelos riscos.

A avaliação correcta dos riscos traduz em geral a competência do engenheiro. Porém, por mais cientificamente que tais problemas possam ser tratados, na verdade trata-se de uma apaixonante arte que o engenheiro deve exercer permanentemnte na diminuição dos riscos. E o primeiro passo, talvez o mais difícil, é o de proceder à análise da sua própria competência e experiência como engenheiro.

A tendência actual para a especialização profissional leva o engenheiro a aferir o seu nível de competência pela capacidade que possui no âmbito restrito da sua especailização, não se apercebendo que ele é limitado.

Acontece mesmo que tenta mais moldar o problema a resolver às suas capacidades, considerando secundários ou inexistentes os factores que não domina, do que aceitar simplesmente os seus desconhecimentos nesses campos.

O problema da interdisciplinaridade que tem causado tantos acidentes na história da engenharia civil teria sido bem mais reduzido se os técnicos tivessem tido mais consciência das limitações dos seus conhecimentos em campos ligados ao da sua especialização e conhecessem melhor as fronteiras respectivas.

Só um exemplo corrente basta para ilustrar tal fenómeno.

Durante muitos anos em Portugal muitas obras de engenharia foram concebidas, projectadas e executadas sem colaboração activa de geólogos. Acontecia que, mesmo recorrendo a estudos geológicos, os engenheiros civis responsáveis pelas obras nem sequer eram capazes de os interpretar devidamente ou detectar os problemas condicionantes. Por outro lado os geotécnicos, elos de ligação indispensáveis entre a geologia e a engenharia de estruturas propriamente dita, não intervinham no processo. E o mais grave é que nem uns nem outros sentiam a falta de geotécnicos. Até era corrente ouvir «responsáveis» já em fase de execução das obras afirmarem que a sua «experiência» era «quanto basta» para dispensar a presença de geólogos ou geotécnicos e no entanto a sua «experiência» resumia-se apenas a simples ignorância.

Não direi que tal situação já não exista em Portugal, mas tem tendência para melhorar ou desaparecer.

4 — SEGURANÇA DE BARRAGENS DE TERRA

A estatística de colapsos de barragens é alarmante, particularmente no que se refere a acidentes que ocorreram com barragens construídas em países com tecnologia avançada. A maioria dos acidentes ocorreu, no entanto, com barragens de altura média (40 a 60 m), talvez em resultado de se desprezar a sua importância em relação a outras que actualmente atingem mais de 250 m e que obrigam a tecnologia especial.

Em geral, os colapsos resultaram de erros ou omissões tais como insuficiência dos órgãos de descarga, estudo inadequado das fundações, conhecimento deficiente do comportamento dos materiais, quer de construção, quer de fundação.

É impressionante a percentagem de barragens de terra que têm tido acidentes ou colapsos em relação a outros tipos de barragem. No quadro seguinte extraído dum relatório preparado em 1973 pelo ICOLD (International Comission on Large Dams) verifica-se que quase 70 % correspondem a acidentes em barragens de terra e que quase 40 % são devidos a erros de concepção e de projecto.

	Número de acidentes						
	A	C	G	T	E	M	Tt
Exploração	9	5	6	49	2	1	72
Material	1	—	2	8	—	—	11
Concepção	—	1	4	17	3	—	25
Projecto	4	6	13	48	3	2	76
Construção	1	1	2	32	5	—	41
Operação	—	—	—	5	1	—	6
Fiscalização	1	1	—	3	—	—	5

A — arco
C — contrafortes
E — enrocamento
M — mista
G — gravidade
Tt — total
T — terra

Em barragens pequenas uma percentagem apreciável do seu custo é necessária para os estudos e isto é em geral difícil de aceitar por parte do cliente. Este procura erradamente economizar nos estudos sem se aperceber que um mau projecto origina em geral encargos desnecessários para a obra ou pior ainda riscos de acidente cujo custo é incalculável. Os prejuízos materiais podem calcular-se, a degradação do ambiente pode avaliar-se, mas a perda de vidas e o sofrimento físico e psíquico são inquantificáveis.

Outro aspecto que nem sempre tem sido tomado em conta é que mesmo as pequenas barragens podem ser potencialmente tão ou mais destrutivas de vidas

e bens que as grandes barragens e não se tem procurado defender de igual modo as populações abrangidas por um eventual colapso. Se a obra é vultuosa e exige grandes investimentos, em geral, são feitas exigências técnicas grandes, mesmo que os riscos de destruição de vidas e bens sejam pequenos; por outro lado, se a obra é pequena, mas envolvendo riscos de vidas e de reduzidos bens materiais então a preocupação resume-se em economizar nos estudos.

Esperemos que as entidades oficiais se apercebam da responsabilidade em que incorrem não exigindo tecnicidade adequada aos estudos e deixando-se envolver por critérios de falsa economia que não servem a Comunidade. O nível técnico de um país só pode subir, em geral, se a concorrência das várias organizações de engenheiros projectistas se fizer principalmente em termos de capacidade técnica e não apenas pelos custos baixos, que em geral, estão associados a técnicas pouco evoluídas ou mesmo rudimentares.

Se há obras em que a alta tecnicidade parece mais necessária é no campo das barragens de terra, principalmente em zonas sísmicas, pois que as estruturas de terra utilizam materiais cujo comportamento dinâmico é complexo.

Mas a ignorância sobre esta problemática, que em geral deveria provocar preocupações, gera uma atitude antagónica e que consiste simplesmente em desprezá-la.

Felizmente no nosso País começa a tomar-se consciência no campo técnico do risco que as nossas barragens correm do ponto de vista sísmico e fizeram-se recentemente esforços para sensibilizar as entidades a este tipo de problemas.

Transcreve-se seguidamente algumas das recomendações do seminário 232 — Risco Sísmico em Grandes Empreendimentos, decorrido no LNEC de 2/5 a 13/5/77.

> «É indispensável a plena consciência, por parte das entidades responsáveis pelos grandes empreendimentos, dos enormes progressos registados nos últimos anos pela Engenharia Sísmica e das possibilidades de intervenção da tecnologia nacional nas diversas fases de projecto e construção das obras.
>
> Assim, para garantir a segurança global de um empreendimento relativamente a acções sísmicas, torna-se necessário: classificar as estruturas, componentes e equipamentos que constituem o empreendimento por classes, de acordo com a respectiva importância, função e consequências de danos devidos a sismos; estabelecer critérios gerais de segurança sísmica em relação aos estados limites de utilização e/ou de rotura das estruturas, componentes e equipamentos.
>
> Seguir os critérios expostos implica na prática que técnicos de engenharia sísmica acompanhem desde o início o projecto dos grandes empreendimentos de forma a permitir a definição tão cedo quanto possível dos referidos critérios gerais de segurança sísmica».

ANEXO

CONCLUSÕES DO RELATÓRIO DA COMISSÃO DE INQUÉRITO ÀS CAUSAS DO COLAPSO DA BARRAGEM DE TETON

Apresentam-se seguidamente os pontos principais do relatório da comissão de inquérito, tendo-se omitido, no entanto, alguns pormenores que se consideram secundários:

1 — Os documentos demonstram que os estudos e prospecção do local feitos durante o projecto preliminar foram apurados e que os estudos geológicos foram adequados e amplos. Os ensaios de injecção executados em 1969 previam as dificuldades encontradas durante a fase de construção do sistema de injecções.

2 — O projecto foi executado segundo as normas do USBR estabelecidas ao longo de muitos anos de experiência em outros projectos, mas não foram tidas em suficiente consideração a variabilidade e as não usuais dificuldades geológicas do local da barragem de Teton.

Pode dizer-se que cada barragem tem a sua personalidade que exige concepções e modalidades construtivas particulares. Das soluções exigidas por tais particularidades resulta a maior parte do progresso contínuo da arte de projectar e da tecnologia da construção de barragens.

3 — A rocha vulcânica do local da barragem de Teton é muito permeável e pouco a muito fissurada.

A água era portanto livre de mover-se com igual facilidade em diversas direcções embora localmente as fracturas estivessem bem cimentadas. Portanto durante o enchimento da albufeira a água era livre de descer rapidamente através da fundação da barragem. Existiam juntas abertas a montante e a jusante do sistema impermeável (trincheira e cortina de injecções) constituindo canículos potenciais de entrada e saída de água.

4 — Os siltes argilosos não plásticos ou pouco plásticos, do depósito eólico, usado para o núcleo e para preenchimento da trincheira são altamente erodíveis.

A comissão sustenta que o uso deste material contra a rocha fracturada da encosta foi um dos factores determinantes para o colapso da barragem.

5 — A construção da barragem e das restantes obras foi feita por empresas especializadas e de acordo com as normas vigentes. As operações construtivas seguiram, sob todos os pontos de vista, as disposições do projecto.

6 — O atraso na construção das obras de descarga limitou o controlo por parte do USBR, do enchimento da albufeira. Porém a comissão sustenta que as razões que causaram as fugas de água e a consequente erosão interna não foram influenciadas, em realidade, pelo enchimento mais rápido que o previsto em projecto. Um enchimento mais lento teria retardado o colapso, mas segundo a comissão, o fenómeno teria ocorrido, na mesma, embora mais tarde.

7 — A documentação existente revela que foi dada particular atenção para obter uma cortina de impermeabilizações de alta qualidade e a comissão considera-a com qualidade não inferior às aceites em outros projectos.

Todavia as indagações feitas pela Comissão demonstraram que a rocha imediatamente sob a capa de betão (na base da trincheira), pelo menos na proximidade dos níveis + 13 a + 15, não estava suficientemente impermeabilizada, e que nessa zona outras fracturas não injectadas poderiam ter existido em profundidade. As fugas de água sob a capa de betão eram suficientes para iniciar erosão regressiva nos materiais da trincheira e de originar um túnel de erosão através da base do corpo da barragem.

A Comissão sustenta que se atribui à cortina de impermeabilização uma demasiada eficácia e que o projecto deveria ter previsto dispositivos para tornar inóqua a inevitável percolação da água.

8 — A geometria da trincheira, com os seus taludes íngremes contribuiu para a formação do efeito arco transversal, diminuindo a solicitação do núcleo para a base da trincheira, favorecendo assim a formação de físsuras que poderão ter dado origem à formação de tubos através do material erodível de preenchimento da trincheira. Efeitos arco devidos a irregularidades do fundo da trincheira e efeitos arco resultantes de irregularidades menores e saliências certamente aumentaram a redução de esforços.

9 — O cálculo de tensões executado com o método de elementos finitos indicou que na base da trincheira (no perfil onde se julga ter-se iniciado a rotura) o efeito arco era tal que a pressão de água podia superar a soma da pressão lateral com a resistência à tracção do material do núcleo. Portanto uma rotura por fractura hidráulica era uma possibilidade teórica e poderia ter produzido a passagem de água na base da trincheira e erodir o material do núcleo da trincheira.

10 — Um exame cuidadoso do interior da galeria de descarga auxiliar não revelou nenhum dano de qualquer tipo como seria de esperar se a encosta direita que era atravessada pelo túnel tivesse sofrido assentamentos significativos ou outras alterações estruturais. Por isso não se considera que assentamentos diferenciais da encosta pudessem ter contribuído para o mecanismo de rotura.

11 — A Comissão não detectou indícios que fenómenos sísmicos pudessem ter contribuído para o colapso da barragem.

12 — A barragem e a sua fundação não foram suficientemente instrumentadas para permitir ao responsável da construção e do seu pessoal estar suficientemente informado de eventuais alterações de comportamento da barragem e encontros.

13 — Desde a primeira sessão de trabalho a Comissão considerou que o colapso parecia poder atribuir-se a erosão regressiva, um processo pelo qual o material é erodido internamente e transportado pela água que o atravessa por canalículos. Esta conclusão permanece válida. As indagações da Comissão incidiram então em estabelecer a modalidade mais provável para o início de tal fenómeno.

A Comissão considera que duas possibilidades são de suspeitar. Elas podem ter-se verificado separada ou concomitantemente. A primeira resulta da passagem de água pelo material altamente erodível e não protegido que preenchia a trincheira e através de fracturas abertas da rocha de fundação imediatamente sob o contacto da capa de betão do fundo da trincheira, com a consequente formação de um tubo de erosão sob toda a base do núcleo na trincheira.

A segunda, por cedência causada pela deformação diferencial ou fractura hidráulica do material do núcleo que preenchia a trincheira corta-águas. Também esta cedência teria originado a formação de tubos de erosão através do aterro da trincheira que permitiram uma rápida erosão interna.

A infiltração da água através do aterro da trincheira deu início a ulteriores erosões ao longo do contacto de jusante entre o aterro e a rocha de fundação do talude da trincheira. Dado que o material de aterro era altamente erodível e resistente, qualquer tubo de erosão ao longo do contacto com a rocha teria tendência a alargar-se e formar grandes túneis ou cavernas de erosão, antes de se tornarem visíveis a jusante da barragem. Faz-se notar que esta descrição do mecanismo de rotura não fornece uma con-

clusão final sobre a causa específica do colapso da barragem de Teton. Certamente várias condições locais e o projecto da barragem contribuiram para o colapso, mas dado que o troço de rotura foi levado pela água não mais será possível estabelecer se a causa principal da infiltração da água na zona de colapso foi devida a uma imperfeita injecção da rocha sob a capa de betão ou à cedência do aterro da trincheira corta-águas ou mesmo às duas.

Todavia, embora seja impossível estabelecer a verdadeira causa do colapso, o ter-se restringido o campo das causas possíveis a estes dois aspectos é uma importante, embora trágica, lição para o projecto e construção de obras similares no futuro.

14 — A causa fundamental do colapso pode ser considerada como resultado da combinação de factores geológicos e de decisões de projecto que por si permitiram a produção do fenómeno.

Os factores geológicos principais foram:

a) numerosas fracturas na rocha de fundação;

b) escassez de materiais mais aptos que os materiais eólicos altamente erodíveis e frágeis para a construção da zona impermeável da barragem.

As decisões do projecto compreendiam:

a) a total dependência para o controlo da percolação da água duma trincheira preenchida com materiais eólicos e de um sistema de injecções;

b) a adopção de uma geometria para a trincheira que favorecia o efeito arco, a fissuração e a fractura hidráulica dum material frágil e erodível;

c) ter confiado na compactação especial do material como única protecção contra a erosão regressiva e arraste do material ao longo e pelas juntas abertas e também por algumas fracturas mais importantes no talude a jusante da trincheira onde foi utilizada uma protecção de betão;

d) dispositivos inadequados de recolha e descarga controlada das águas de infiltração que inevitavelmente teriam de aparecer, quer na rocha de fundação, quer no aterro da trincheira corta-águas.

As condições difíceis da zona aconselhavam a prever na fase de projecto a hipótese mais desfavorável, sugerida pelas condições geológicas em relação ao comportamento da água e dos seus possíveis efeitos sobre a barragem. Em vez de depender tão fortemente da trincheira corta-águas e da cortina de injecções, deveriam ter-se adoptado dispositivos para tornar inofensiva qualquer quantidade de água que viesse a atravessar o núcleo por qualquer razão.

Em conclusão, em condições difíceis, que exigiam uma melhor capacidade e experiência no exercício da engenharia para assegurar o bom comportamento da barragem de Teton, foi feita uma concepção infeliz de projecto e foram tidas precauções inferiores às convencionais; circunstâncias estas que levaram, por fim, ao colapso da barragem.

NOTA DA REDACÇÃO: pela importância e actualidade dos problemas focados, entendeu a redacção da TÉCNICA proceder à imediata publicação deste trabalho.

(CONTINUAÇÃO)

NOTICIÁRIO

★ PROJECTOS INDUSTRIAIS DO SECTOR EMPRESARIAL DO ESTADO

No início do mês de Fevereiro o II Governo Constitucional apresentou ao País o seu programa de Governo. Nele se destacam os seguintes projectos industriais: instalação de uma nova linha de pasta de papel, utilizando os equipamentos já adquiridos pela Celangol; construção de uma fábrica de cartão canelado com a capacidade de 25 mil toneladas/ano; construção de fábricas de amoníaco e ureia; ampliação da Siderurgia Nacional; construção, em Sines, de unidades petroquímicas; construção, no Porto, de uma unidade de tutadieno, tolueno e xileno; nova linha de fabricação de cimento com capacidade da ordem de um milhão de toneladas/ano, a instalar em Souselas; construção de uma fábrica de fio de «nylon» de diversas qualidades; construção, em Sines ,da nova fábrica de tratamento de pirites; e construção de uma fábrica de automóveis.

Prevê-se, ainda, a possibilidade de lançar a curto prazo projectos fabris de tractores, motores «Diesel», máquinas-ferramenta de elevada qualidade, electrodomésticos, equipamento agrícola, produtos farmacêuticos, volfrâmio metálico e cloro e soda, a partir de salgema nacional.

(Continua na pág. 503)

★ CONFERÊNCIA NACIONAL DE FÍSICA — «FÍSICA 78»

Com a presença de cerca de 400 investigadores e professores dos ensinos superior e secundário, iniciou-se no dia 23 de Fevereiro na Fundação Calouste Gulbenkian, a primeira Conferênca Nacional de Física, organizada pela Sociedade Portuguesa de Física.

Nesta conferência, que congregou cerca de 400 físicos, na sua maioria professores e investigadores dos ensinos superior e secundário, foram apresentadas mais de 90 comunicações, contemplando os resultados da investigação em curso nos mais variados domínios da física, bem como análises de interligações da física com a indústria e outras actividades sociais.

★ ESPECIALISTAS DA O. N. U. VÃO APOIAR ESTUDO HÍDRICO DA ZONA DE SETÚBAL

Especialistas da ONU vão apoiar o Governo português no estudo dos aquíferos subterrâneos da península de Setúbal, ameaçados de esgotamento, depois de vários anos de exploração desordenada.

O auxílio internacional será concretizado através do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), nos termos de um protocolo, anteontem assinado pela ministro das Obras Públicas, eng.º Sousa Gomes, e Jean Petitpierre, director-adjunto do PNUD para a Europa.

Ao abrigo do documento assinado, trabalharão no nosso país durante dois anos alguns técnicos da ONU que deverão preparar quadros portugueses e participar num estudo da península de Setúbal, que permita definir, com um grau de confiança elevado, o estado das reservas de águas subterrâneas da região.

O PNUD contribuirá com 220 mil dólares para este trabalho, cerca de um terço da verba aplicada pelo Governo português, que atinge os 30 mil contos.

Em breves declarações a este jornal, o director-geral dos Recursos e Aproveitamentos Hidráulicos, eng.º Faia Ferreira, afirmou que os aquíferos de Setúbal têm sido sujeitos a uma extracção superior ao caudal recebido, devido a um crescimento desordenado da região, induzido por factores diversos, entre os quais se contam as facilidades de transporte permitidas pela ponte sobre o Tejo.

A invasão das toalhas subterrâneas por águas salobras ou salgadas poderá ter consequências muito graves, implicando a paralisação de indústrias e a redução drástica dos consumos domésticos.

A Direcção-Geral considerou prioritária a situação na zona de Setúbal, embora problemas semelhantes se manifestem em muitos locais, designadamente no Algarve e na faixa costeira entre Leiria e a Figueira da Foz.

Deve dizer-se, aliás, que o problema algarvio começou já a ser estudado pela Direcção-Geral, em colaboração com a Faculdade de Ciências de Lisboa. O apoio da ONU é considerado muito importante para o progresso dos trabalhos, dada a impreparação técnica dos portugueses neste sector.

(Informação do «Diário de Notícias» de 22-2-78)

★ ENCONTRO SOBRE LIVRO BRANCO DAS CENTRAIS NUCLEARES

Vai realizar-se ,em Abril próximo, em Lisboa, um encontro para debate público do «Livro Branco sobre Centrais Nucleares em Portugal», organizado pela Comissão Promotora do Encontro Nacional de Política Energética.

Segundo os representantes daquela Comissão, eng.ºs Frederico de Carvalho, Gaspar Teixeira, Campos de Carvalho e Fernando Sequeira, o «Livro Branco sobre as Centrais Nucleares em Portugal», mandado elaborar pelo I Governo Constitucional, será publicado no próximo mês de Março.

Esse livro foi elaborado por uma comissão composta pelo dr. Jaime Oliveira e dr. António Betencourt, da Junta de Energia Nuclear; eng.º Rui Sérgio, da EDP; e dr. Alfredo Sousa, da Universidade Nova de Lisboa.

No encontro, que terá a duração de dois dias, serão discutidos os seguintes temas: problemas de Engenharia e da participação da indústria nacional, dos combustíveis (fósseis e nucleares), das infra- estruturas científicas e técnicas e de formação de pessoal, económico-financeiros especiais e globais e finalmente, problemas de ambiente, de segurança e sociais.

(Informação do «Jornal de Notícias» de 22-2-78)

NÚMERO 448 MARÇO DE 1978 ANO LIII VOLUME XXXIX

C. D. U. 532.54

Escoamento com superfície livre em canais de secção circular

A. BETÂMIO DE ALMEIDA
Instituto Superior Técnico
Universidade Técnica de Lisboa

SUMÁRIO

O autor apresenta uma sistematização das características do escoamento com superfície livre em canais de secção circular. Mostra-se, igualmente, a vantagem do uso dum traçador automático de gráficos.

SUMMARY

The author presents a systematization of the circular open channel flow chracteristics. The advantages of a «plotter», in such a study, is also shown.

1 — INTRODUÇÃO

O estudo do escoamento com superfície livre em canais de secção circular tem merecido a atenção de muitos autores em virtude do mesmo se verificar em domínios importantes da hidráulica aplicada que vão desde obras de adução em abastecimentos de água, esgoto ou drenagem, até evacuadores de cheias em poço e poderosas descargas de fundo, em barragens.

O presente trabalho tem a finalidade de apresentar uma sistematização das características do referido escoamento, a qual, sem pretender ser exaustiva, tem em vista estimular a utilização dos traçadores automáticos de gráficos («plotters»), acoplados a computadores. Efectivamente, com o advento do cálculo automático e em especial das mini-calculadoras, muitos dos cálculos hidráulicos passaram a ser executados sem o recurso a tabelas, ábacos ou métodos gráficos, pelo que o interesse destes tem vindo a decrescer [1].

A mera resolução numérica de equações não permite, contudo, em muitos casos, o fácil entendimento do comportamento do fenómeno físico e, em particular, da resposta do mesmo a variações nos valores de parâmetros. Outros casos há, em que se exige a resolução de equações que as mini-calculadoras não programáveis só conseguem após demoradas e por vezes fastidiosas iterações, mas em que não se justifica a utilização de meios de cálculo mais poderosos.

Nesta conformidade, o autor admite haver grande interesse na utilização dum «plotter» acoplado a um computador. Possibilita-se, assim, a apresentação dos resultados de cálculos sistemáticos e o fácil entendimento do comportamento de funções analíticas seja qual for a sua complexidade.

Os cálculos foram efectuados num computador HP. 9830-A, munido de «plotter».

2 — CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DO ESCOAMENTO

As características geométricas dum escoamento com superfície livre variam, em cada secção do canal, com o nível atingido por essa superfície. Neste estudo, a caracterização geométrica, numa secção circular, é feita com base nos elementos apresentados na Figura 1. Escolheu-se, para parâmetro fundamental, o

Manuscrito recebido para publicação em 25/2/77.

semi-ângulo ao centro θ com o intuito de facilitar a formulação matemática de muitas grandezas dele dependentes.

A altura de escoamento h, numa secção circular de raio R, relaciona-se com o referido ângulo pela seguinte expressão:

$$h = R\ (1 - \cos\theta) \qquad (1)$$

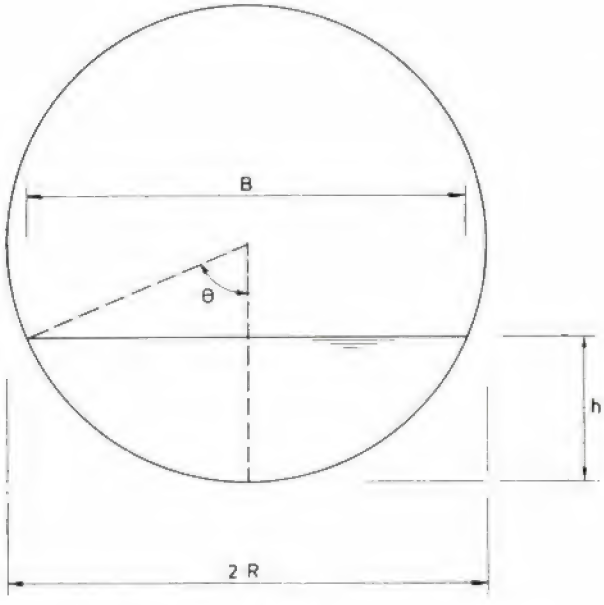


Fig. 1

Elementos definidores da geometria do escoamento e da secção

As grandezas geométricas mais utilizadas e as respectivas expressões analíticas são apresentadas no Quadro 1.

A obtenção de valores numéricos para as grandezas referidas pode ser feita, muito facilmente, mediante a utilização de mini-calculadoras ou das tabelas publicadas em manuais de hidráulica [2] [3].

3 — ENERGIA ESPECIFICA E IMPULSÃO TOTAL

Num escoamento com superfície livre assume especial interesse o conceito de energia específica ou seja, a energia mecânica total por unidade de peso do fluido, referida ao ponto da secção de menor cota topográfica [4]:

$$H = \lambda\ h + \frac{\alpha\ Q^2}{2\ g\ S^2}$$

No caso de canais formando ângulos pequenos com a horizontal, e para escoamentos que se possam considerar gradualmente variados em que se admita a distribuição hidrostática de pressão, o valor do coeficiente λ pode ser considerado igual à unidade. Quanto ao coeficiente α (coeficiente de Coriolis), existem resultados experimentais [5] (para secções circulares) que indicam uma tendência para o mesmo aumentar de valor, à medida que a relação h/R diminui (Anexo A-1).

Para secções circulares e admitindo $\lambda = \alpha = 1$, a energia específica tem a seguinte expressão:

$$H = R\left(1 - \cos\theta + \frac{Z}{2\ (\theta - \cos\theta\ \mathrm{sen}\,\theta)^2}\right) \qquad (2)$$

QUADRO I

Grandezas geométricas	Expressões analíticas
Area líquida	$S = R^2\ (\theta - \cos\theta\ \mathrm{sen}\,\theta)$
Largura superficial	$B = 2\ R\ \mathrm{sen}\,\theta$
Perímetro molhado	$P_m = 2\ R\ \theta$
Altura média de escoamento (S/B)	$h_m = R\ \dfrac{\theta - \cos\theta\ \mathrm{sen}\,\theta}{2\ \mathrm{sen}\,\theta}$
Raio hidráulico (S/P)	$R_H = R\ \dfrac{\theta - \cos\theta\ \mathrm{sen}\,\theta}{2\ \theta}$
Profundidade do centro de gravidade da área líquida	$h_G = R\left(\dfrac{2}{3}\ \dfrac{\mathrm{sen}^3\theta}{\theta - \cos\theta\ \mathrm{sen}\,\theta} - \cos\theta\right)$

com Z, parâmetro adimensional, definido por $\frac{Q^2}{g R^5}$.

A representação gráfica desta expressão (Figura 2) mostra que, para cada valor de Z, existe um valor mínimo de $\frac{H}{R}$, o qual corresponde ao regime crítico. Neste regime verifica-se (o número de Froude é igual à unidade — Ver secção 5) a seguinte expressão:

$$Q^2 = g\ h_m\ S^2$$

que se pode transformar, para secções circulares e pondo $\theta = \theta_c$, em

$$Z = \frac{(\theta_c - \cos\theta_c \operatorname{sen}\theta_c)^3}{2 \operatorname{sen}\theta_c} \qquad (3)$$

vindo, para a energia específica crítica correspondente, a expressão:

$$H_c = R\left(1 - 1{,}25 \cos\theta_c + \frac{\theta_c}{4 \operatorname{sen}\theta_c}\right) \qquad (4)$$

Das duas últimas expressões representadas na Figura 3, pode-se concluir que os valores de Z e H_c assumem um valor infinito quando $\theta_c = 180°$, o que significa, não ser fisicamente possível a existência de um escoamento em regime rápido, ocupando totalmente a secção do canal.

A Figura 2 permite evidenciar algumas características da função expressa por (2). Assim, conclui-se que para cada valor do parâmetro Z, o escoamento em superfície livre com valor de $\frac{H}{R}$ superior ao correspondente a $\theta = 180°$ (linha piezométrica coincidente com o topo da secção) ou seja, superior ao valor 2 + 0,051 Z, só se poderá verificar em regime rápido e com uma altura inferior a $R(1 - \cos\theta_1)$, com θ_1 obedecendo à expressão

$$Z = -\frac{(1+\cos\theta_1)\ (\theta_1 - \cos\theta_1 \operatorname{sen}\theta_1)^2}{0{,}051\ (\theta_1 - \cos\theta_1 \operatorname{sen}\theta_1)^2 - 0{,}5}$$

Para valores de $\frac{H}{R}$ compreendidos entre o citado e o crítico, existem duas alturas de escoamento possíveis, uma em regime rápido e $\theta > \theta_1$ e outra em regime lento. Em regime crítico ($H = H_c$) o caudal escoado é o máximo para cada $\frac{H}{R}$. O valor desse caudal é determinado por meio da resolução das expressões (3) e (4) a qual pode ser efectuada dum modo expedito através da Figura 3.

Duma forma sistematizada, o Quadro 2 apresenta os tipos possíveis de escoamento, em função dos valores da razão $\frac{H}{R}$.

QUADRO II

Tipo de escoamento possível correspondente a um dado valor $\frac{H}{R}$.

Valor de $\frac{H}{R}$	Tipo de escoamento com superfície livre
$> 2 + 0{,}051\ Z$	Só há regime rápido ($\theta < \theta_1 < \theta_c$)
$= 2 + 0{,}051\ Z$	admite os dois regimes; o lento com $\theta = 180°$ e o rápido com $\theta = \theta_1 < \theta_c$
$\frac{H_c}{R} < \frac{H}{R} < 2 + 0{,}051\ Z$	admite os dois regimes; o lento com $\theta_c < \theta < 180°$ e o rápido com $\theta_1 < \theta < \theta_c$
$\frac{H_c}{R} = \frac{H}{R}$	regime crítico ($\theta = \theta_c$)

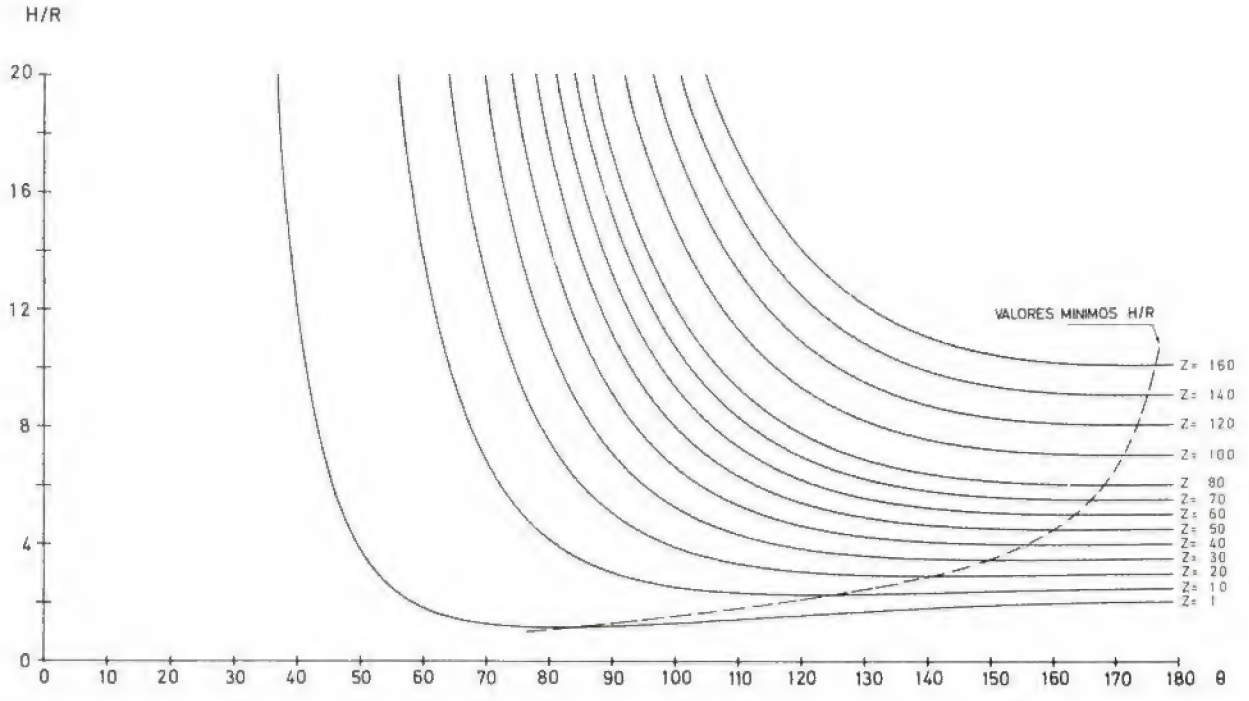


Fig. 2

Função $\frac{H}{R} = \frac{H}{R}(\theta, Z)$, com $Z = \frac{Q^2}{gR^5}$

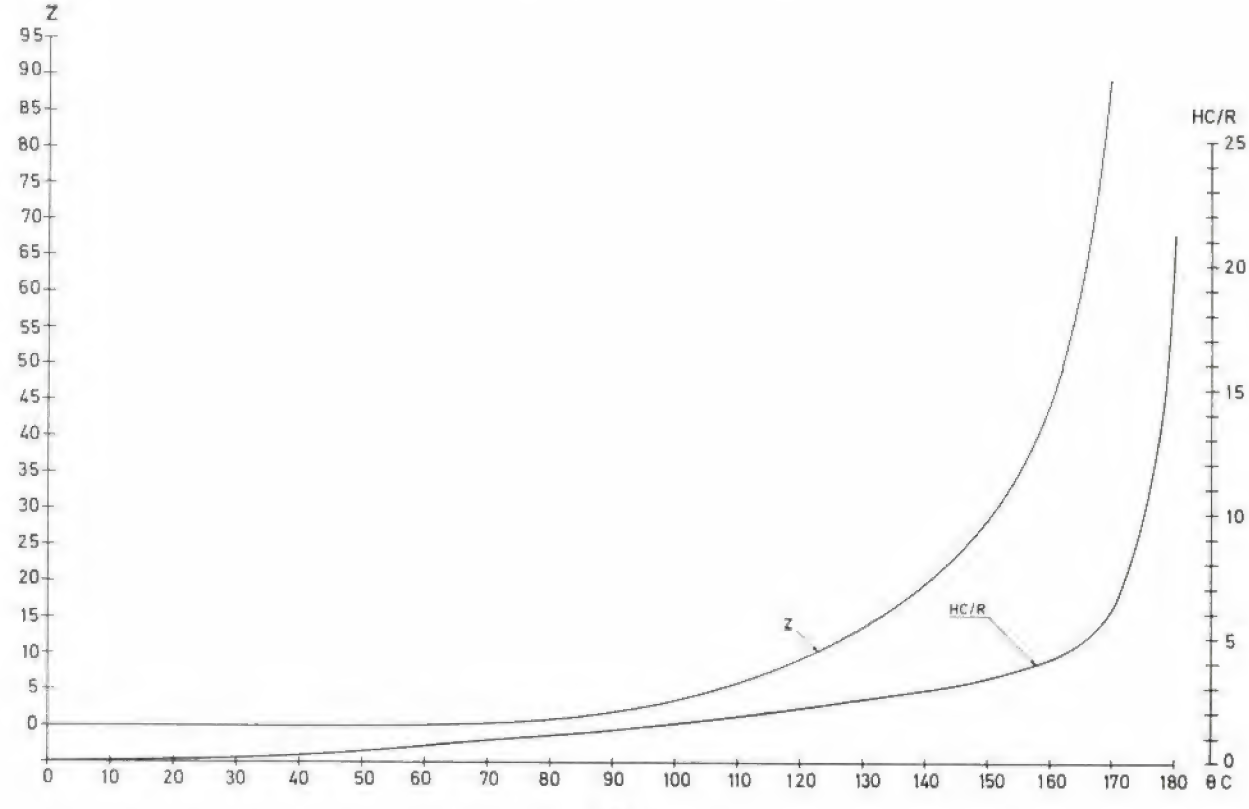


Fig. 3

Função $Z = Z(\theta_c)$ e $\frac{Hc}{R} = \frac{Hc}{R}(\theta_c)$

A impulsão total (ou quantidade de movimento total) é uma grandeza que decorre da aplicação do teorema de Euler aos escoamentos com superfície livre, sendo definida [4 — pág. 3-32] «como a soma da impulsão hidrostática numa secção recta dum escoamento rectilíneo e da quantidade de movimento do líquido que, na unidade de tempo, atravessa a referida secção», tendo a seguinte expressão geral:

$$M = \gamma \left(\lambda \, h_G \, S + \frac{\alpha' \, Q^2}{g \, S} \right)$$

com α' coeficiente da quantidade de movimento o qual, assume valores menores que os correspondentes a α (Anexo A-1). Esta expressão pode ser transformada, no caso de secções circulares e $\lambda = \alpha' = 1$, nesta outra:

$$\frac{M}{\gamma R^3} = I_M = \frac{Z}{\theta - \cos\theta \operatorname{sen}\theta} + \frac{2}{3} \operatorname{sen}^3\theta - \theta \cos\theta + \cos^2\theta \operatorname{sen}\theta \qquad (5)$$

A representação gráfica desta expressão (Figura 4) permite retirar conclusões semelhantes às apresentadas para a energia específica, existindo igualmente, um valor limite da impulsão total, correspondente a cada par de valores de R e Z, acima do qual o escoamento com superfície livre só é possível em regime rápido. Esse limite corresponde ao valor da expressão (5) para $\theta = 180°$ ou seja, $I_M = \frac{Z}{\pi} + \pi$.

Uma das aplicações mais importantes da impulsão total consiste, na localização da secção do canal onde se verifica um ressalto hidráulico. Este localiza-se na secção em que se verifique a igualdade de I_M para os regimes rápido e lento, que se situam respectivamente a montante e a jusante do referido ressalto. Num canal com secção circular, se o escoamento com superfície livre e em regime rápido possuir um valor de I_M superior ao do citado limite, e as condições a jusante exigirem a localização dum ressalto hidráulico numa secção do canal, verificar-se-á para jusante desse ressalto, um escoamento em pressão.

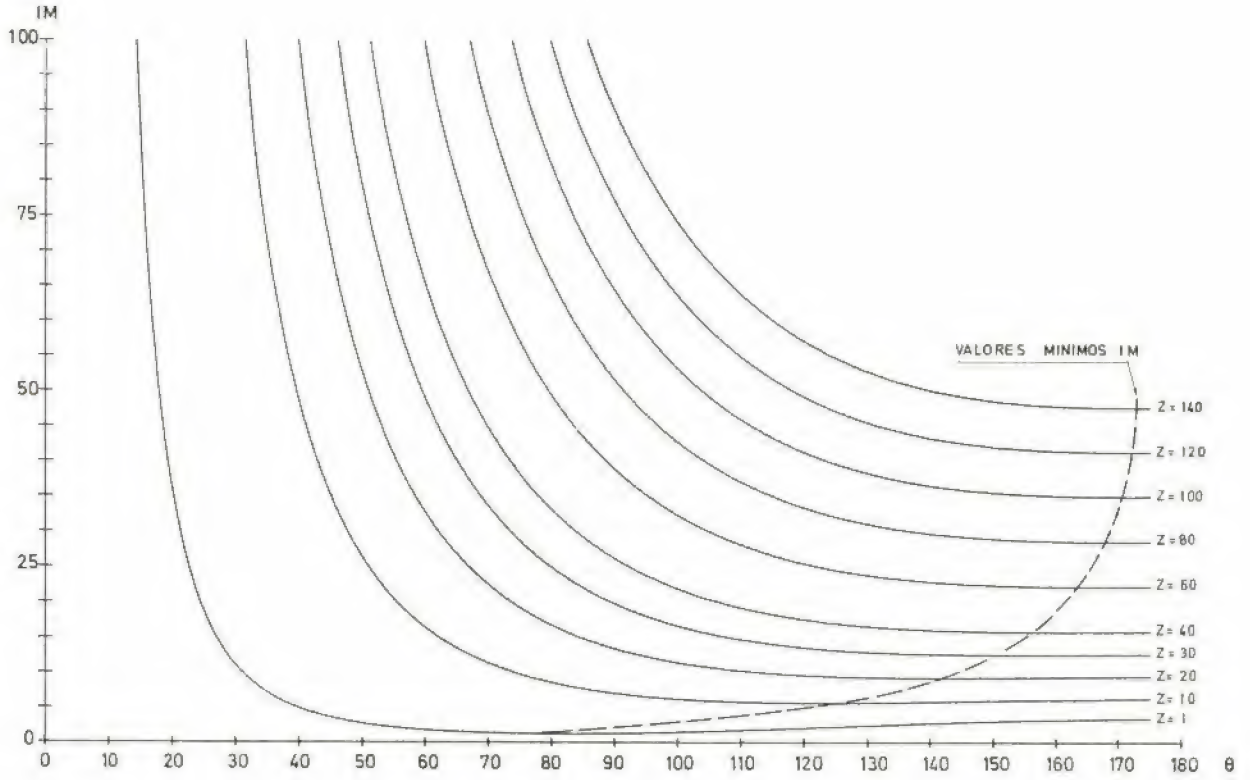


Fig. 4

Função $I_M = I_M(\theta, Z)$ com $I_M = \frac{M}{gR^3}$ e $Z = \frac{Q^2}{gR^5}$

4 — ESCOAMENTO UNIFORME E TENSÃO TANGENCIAL MÉDIA

O escoamento uniforme é um regime de equilíbrio que tende a ser atingido, assintoticamente, em canais prismáticos de rugosidade constante ao longo das respectivas geratrizes [4]. Caracteriza-se por

apresentar em cada secção as mesmas características geométricas e cinemáticas e, consequentemente, a mesma energia específica e impulsão total.

Quando este tipo de escoamento se verifica, a perda de carga unitária J é igual ao declive i do canal, no caso de este formar um ângulo pequeno com a horizontal. Fazendo-se uso desta igualdade e escolhendo uma lei de resistência, podem ser facilmente determinadas as características do escoamento correspondentes a um dado caudal.

Para o caso de um canal de secção circular com rugosidade uniforme, a lei de resistência de Gauckler-Manning ($Q = K\,S\,R_H^{2/3}\,J^{1/2}$) permite obter a seguinte expressão para J, representada na Figura 5:

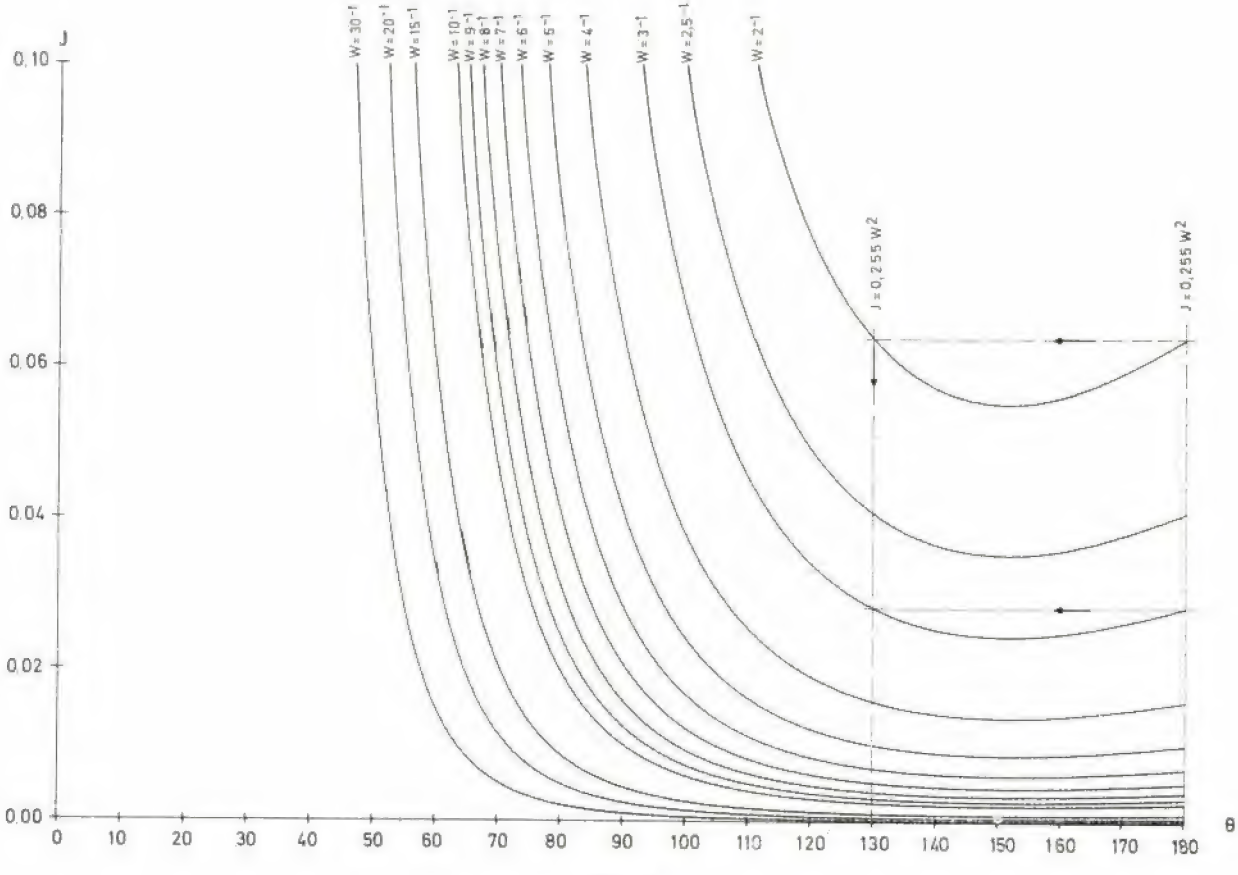


Fig. 5

Função $J = J\,(\theta, W)$, com $W = \dfrac{Q}{K\,R^{8/3}}$

$$J = W^2\,\frac{(2\,\theta^{4/3})}{(\theta - \cos\theta\,\mathrm{sen}\,\theta)^{10/3}} \qquad (6)$$

em que W é o parâmetro adimensional $\dfrac{Q}{K\,R^{8/3}}$.

A função J apresenta, para cada valor de W, um mínimo para o valor de $\theta \simeq 151°$ (ou seja para $\dfrac{h}{R} \simeq 1{,}88$) o que permite obter de (6) a seguinte expressão:

$$J_m = 0{,}221\,W^2 \qquad (7)$$

O valor de J_m coincide com o valor do declive mínimo exigido para o canal, para que seja possível o escoamento uniforme correspondente a determinado W. Complementarmente, a expressão (7) permite determinar o caudal máximo que se pode verificar em escoamento uniforme, fixado o declive e a secção do canal.

Em virtude do valor máximo de θ ser 180° verifica-se que, para valores de J superiores a $0{,}255\,W^2$ (valor obtido de (6) para $\theta = 180°$), a altura do escoamento é sempre inferior a 1,64 R, ou seja a correspondente a 130° (Figura 5). Conclusões semelhantes a estas podem igualmente ser extraídas da função $S\,R_H^{2/3}$ de θ a qual se pode relacionar com J através da seguinte relação

$$S\,R_H^{2/3} = \frac{W\,R^{8/3}}{\sqrt{J}} \times 2^{4/3}$$

O Quadro 3 resume as condições de possibilidade de escoamento uniforme (para o qual $J = i$), em canais de secção circular e rugosidade uniforme.

QUADRO III

Tipo de escoamento uniforme com superfície livre

Declive i do canal	Escoamento uniforme com superfície livre
$i < 0{,}221\ W^2$	não é possível
$i = 0{,}221\ W^2$	é possível com $i = J_m$ e $\theta_u = 151°$
$0{,}221 < \frac{i}{W^2} \leqslant 0{,}255$	é possível havendo duas alturas uniformes ($130° < \theta_u < 151°$ e $180° > \theta_u > 151°$)*
$i > 0{,}255\ W^2$	é possível sendo a altura uniforme inferior a 1,64 R ($\theta_u < 130°$)

* — A existência de duas alturas uniformes altera a configuração das curvas de regolfo habitualmente consideradas em canais prismáticos.

O escoamento uniforme em regime rápido ($\theta_u < \theta_c$) pode tornar-se instável em virtude da amplificação de eventuais perturbações internas. Esta instabilidade caracteriza-se pelo aparecimento de «trens» de ondas, os quais poderão provocar em canais de secção fechada, a passagem periódica do escoamento com superfície livre a escoamento sob pressão acompanhada de fortes pulsações de pressão. O aparecimento da instabilidade depende de diversos factores entre os quais se salientam o número de Froude, as características geométricas do escoamento e do canal, a lei de resistência e o comprimento do canal que deve ser o suficiente para permitir a formação e crescimento das ondas. Em canais de secção circular prova-se teoricamente (Anexo A-2) que a altura uniforme estável corresponde a $\theta_u = 128{,}7°$.

A tensão tangencial média que um escoamento exerce sobre o seu álveo, pode relacionar-se com as condições críticas de arrastamento de material sólido. Em escoamentos uniformes a referida tensão tangencial (T) obedece à seguinte expressão:

$$T = \gamma\ R_H\ i$$

a qual se pode transformar em (8), para canais de secção circular, com P, parâmetro adimensional, definido por $\frac{T}{\gamma\ R}$:

$$i = P\ \frac{2\ \theta_u}{\theta_u - \cos\theta_u\ \operatorname{sen}\theta_u} \qquad (8)$$

Esta relação é válida seja qual for a lei de resistência utilizada, a qual irá influenciar contudo, a relação entre θ_u e o caudal. A representação gráfica de (8) evidencia a existência de uma altura de escoamento uniforme para a qual o declive i, correspondente a um determinado valor do parâmetro P, é o mínimo (Figura 6). Esta altura coincide com a de o maior raio hidráulico e é, aproximadamente, 1,6 R.

Estudos teóricos e experimentais [5] mostram que a distribuição das tensões tangenciais não é uniforme (como a expressão (8) supõe), afastando-se mais desta hipótese quanto menor for o valor da razão h/R (Anexo A-1).

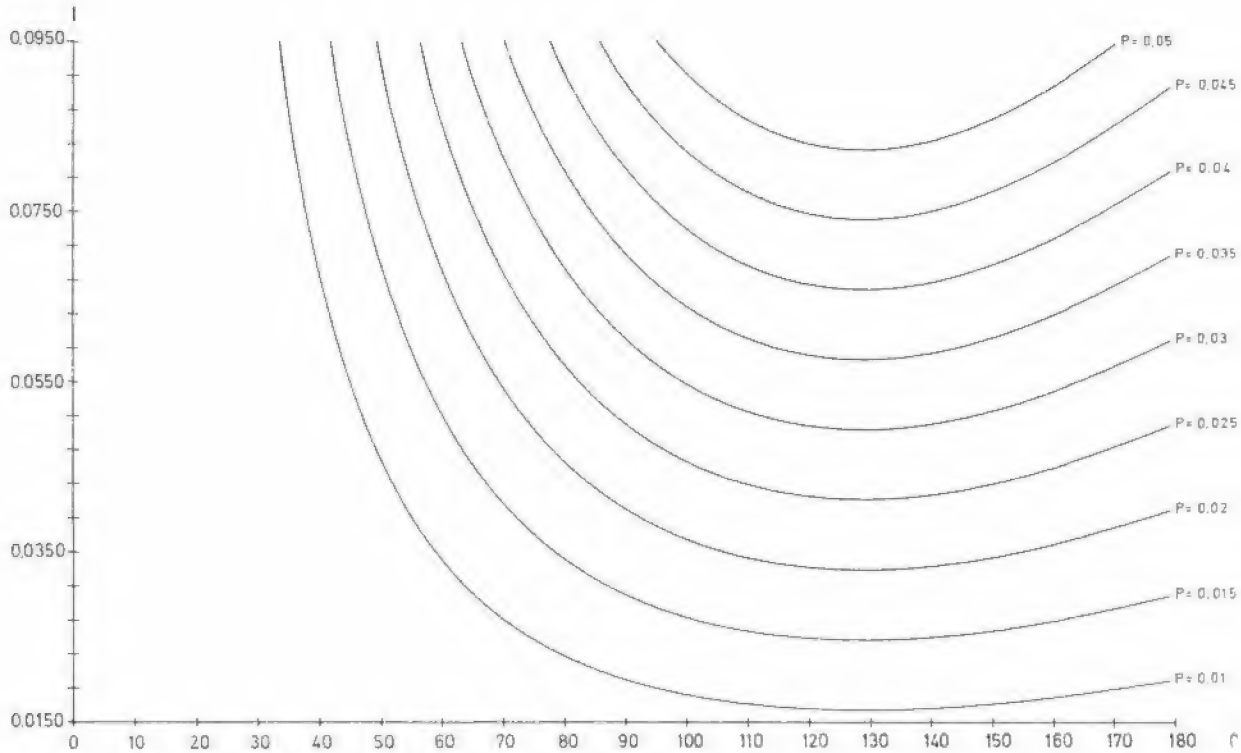


Fig. 6

Função $i = i\ (\Theta_n, P)$, com $P = \dfrac{T}{\gamma R}$

5 — NÚMERO DE FROUDE E DECLIVE CRÍTICO

Em escoamentos com superfície livre os três regimes (lento, rápido e crítico) podem ser identificados pelo parâmetro adimensional designado por número de Froude o qual pode ser definido do seguinte modo (i):

$$F = \frac{\sqrt{\alpha}\ V}{\sqrt{g\ h_m\ \lambda}} = \frac{\sqrt{\alpha}\ Q}{S\sqrt{g\ \frac{S}{B}\ \lambda}} \qquad (9)$$

em canais de secção circular e admitindo $\alpha = \lambda = 1$ a expressão (9) transforma-se em:

$$F = \sqrt{Z}\ \sqrt{\frac{2\ \text{sen}\ \Theta}{(\Theta - \cos\Theta\ \text{sen}\ \Theta)^3}} \qquad (10)$$

A expressão (10) evidencia o facto de, para $\Theta = 180°$, o número de Froude se anular qualquer que seja o valor de Z (desde que finito) o que é característico das secções fechadas, em que a largura superficial B é uma função contínua e decrescente da altura do escoamento.

Em escoamentos uniformes o valor do número de Froude depende da razão entre o declive i do canal e um declive crítico fictício, i'_c, correspondente a uma altura crítica igual à do escoamento, transformando-se a expressão (9), no caso da lei de resistência fazer variar o caudal com a raiz quadrada da perda de carga unitária (caso da lei de Gauckler-Manning), nesta outra [6]:

$$F = \sqrt{\frac{i}{i'_c}} \qquad (11)$$

O declive crítico dum canal é o que possibilitaria, para um determinado caudal, a coincidência entre a altura uniforme e a altura crítica. Quando se verifica a referida coincidência, é válida a seguinte relação, para a lei de Gauckler-Manning:

$$g\ h_m = K^2\ R_H^{4/3}\ i_c$$

Em canais de secção circular vem para i_c a seguinte expressão (Figura 7):

(i) Muitos autores preferem definir o número de Froude através do quadrado da expressão (9). A definição apresentada tem a vantagem de exprimir a razão entre a velocidade média do escoamento e a celeridade das pequenas perturbações o que conduz a consequências físicas e matemáticas de interesse.

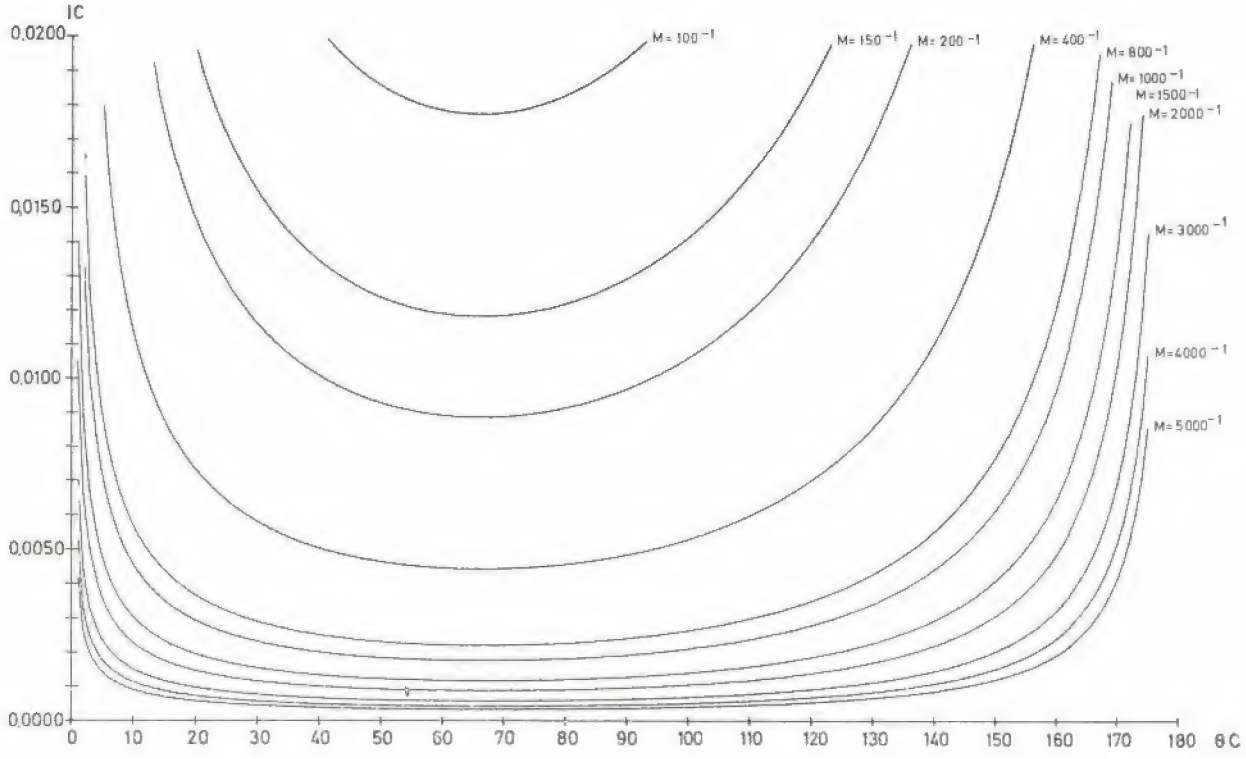


Fig. 7

Função $i_c = i_c\ (\theta_c,\ M)$, com $M = \dfrac{g}{K^2\ R^{1/3}}$

$$i_c = 1{,}26\ M \frac{\theta_c^{\ 4/3}}{\operatorname{sen}\theta_c\ (\theta_c - \cos\theta_c \operatorname{sen}\theta_c)^{1/3}} \qquad (12)$$

com M, parâmetro adimensional, definido por $\dfrac{g}{K^2\ R^{1/3}}$

A expressão (12) apresenta, para cada valor do parâmetro M, um mínimo para $\theta_c \simeq 66°$ a que corresponde o valor de $i_c = 1{,}79\ M$. Este valor mínimo permite o cálculo do limite superior do número de Froude, [6] para escoamentos uniformes e num canal de declive i, através da expressão (11).

6 — CONCLUSÕES

A utilização dum «plotter» acoplado a um computador, possibilita a representação gráfica de expressões analíticas, seja qual for a sua complexidade, permitindo deste modo, retirar conclusões sobre o comportamento de determinadas grandezas com interesse, nomeadamente no domínio da Hidráulica.

No estudo apresentado, o conjunto de figuras seleccionadas possibilita uma sistematização das características dos escoamentos permanentes em canais primáticos com secção circular, generalizável dum modo qualitativo, a outros tipos de secções fechadas. Por outro lado, as figuras e expressões apresentadas numa forma adimensional, permitem a resolução expedita de equações que as mini-calculadoras não programáveis só fazem após demoradas iterações.

7 — REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] **Quintela, A.**, 1974. «Métodos gráficos, tabelas e ábacos em Hidráulica». 1.º Congresso Nacional de Mecânica Teórica e Aplicada. Tema N.º 5 — Mecânica de Fluidos. Lisboa.

[2] **Lencastre, A.**, 1969. Manual de Hidráulica Geral. Edição Técnica. Lisboa.

[3] **Burec**, 1974. Design of Small Dams. 2.ª edição revista. Washington.

[4] **Quintela, A.**, 1975. Hidráulica II, Capítulo 3. — Escoamentos com superfície livre. (Ed. Ciclostilada) I. S T., Lisboa.

[5] **Replogle, J. A.** e **Chow, V. T.**, 1966. Tractive-force distribution in open channels. Journal of the Hydraulics Division. Vol. 92. N.º HY2, March, pag. 169-191. ASCE.

[6] **Almeida, A. P.**, 1976. Limite superior do número de Froude em canais prismáticos e escoamento uniforme. Técnica N.º 432. Lisboa.

[7] **Liggett, J. A.**, 1975. Stability. Unsteady flow in open channels. Vol. 1. Edição K. Mahmood e V. Yevjevich. W. R. P. Fort Collins.

8 — NOMENCLATURA

θ — Semi-ângulo ao centro correspondente à altura h do escoamento;

θ_c — Semi-ângulo ao centro correspondente ao regime crítico;

θ_u — Semi-ângulo ao centro correspondente ao escoamento uniforme;

H — Energia específica;

H_c — Energia específica correspondente ao regime crítico;

S — Área líquida;

B — Largura superficial;

P_m — Perímetro molhado;

h_m — Altura média do escoamento (S/B);

h_G — Profundidade do centro de gravidade da área líquida;

R — Raio da secção circular;

R_H — Raio hidráulico;

M — Impulsão total (ou quantidade de movimento total);

J — Perda de carga unitária;

i — Declive do canal;

i_c — Declive crítico;

i_c — Declive crítico correspondente a uma altura crítica igual à dum escoamento uniforme num canal de declive i;

Q — Caudal;

V — Velocidade média do escoamento;

T — Tensão tangencial média;

K — Coeficiente de Gauckler;

α — Coeficiente de Coriolis;

α' — Coeficiente da quantidade de movimento;

λ — $\beta \cos \psi$, com β coeficiente de Jaeger-Manzanares e ψ ângulo do fundo do canal com a horizontal;

F — Número de Froude;

g — Aceleração da gravidade;

γ — Peso específico do fluido.

Coeficientes adimensionais adoptados neste estudo

$$Z = \frac{Q^2}{g\ R^5} \qquad W = \frac{Q}{K\ R^{8/3}} \qquad M = \frac{g}{K^2\ R^{1/3}}$$

$$I_M = \frac{M}{\gamma\ R^3} \qquad P = \frac{T}{\gamma\ R}$$

9 — AGRADECIMENTO

O autor deseja agradecer as facilidades concedidas pela Hidrotécnica Portuguesa (HP), proprietária do equipamento de cálculo automático utilizado neste trabalho.

ANEXOS

A-1

Os valores dos coeficientes α e α' dependem da lei de distribuição de velocidades na área líquida. A título exemplificativo apresentam-se os resultados experimentais obtidos por Chow e Replogle [5] (valores extraídos dos apresentados no Quadro 1, pag. 174, do artigo citado) — Quadro IV.

Estes autores determinaram, por via indirecta, a distribuição das tensões tangenciais sobre o álveo tendo concluído que a mesma é função da razão h/R, sendo independente dos números de Froude e de Reynolds, no caso de o regime ser puramente turbulento. Verificaram, igualmente, que a distribuição de tensões não é uniforme.

A-2

O critério de estabilidade em regime rápido mais utilizado, exige que o número adimensional, designado pelo nome de Vedernikov, tenha um valor compreendido entre −1 e +1. Para valores diferentes o escoamento torna-se instável, desde que o canal tenha um comprimento suficiente [7].

O número de Vedernikov tem a seguinte definição, no caso de se utilizar a lei de Gauckler-Manning:

$$V_E = \frac{2}{3}\left(1 - R_H \frac{d\,P_m}{ds}\right) F \qquad \text{(A-1)}$$

Para canais de secção circular a expressão (A-1) transforma-se nesta outra:

$$V_E = \frac{2}{3}\ F\ \frac{\operatorname{sen} 2\theta - 2\theta \cos 2\theta}{2\theta\ (1 - \cos 2\theta)} \qquad \text{(A-2)}$$

O numerador da expressão (A-2) anula-se para $\theta = 128{,}7°$, garantindo-se, teoricamente, a estabilidade do escoamento seja qual for o número de Froude.

QUADRO IV

VALORES EXPERIMENTAIS OBTIDOS POR CHOW E REPLOGLE

Conduta	h/2R	V (m/s)	i	J	α	α'
cobre R = 0,05 m	0,683	0,74	0,00320	0,00338	1,053	1,012
	0,500	0,58	0,00400	0,00500	1,067	1,018
	0,333	0,46	0,00400	0,00450	1,125	1,048
aço R = 0,07 m	0,678	0,48	0,00200	0,00185	1,090	1,031
	0,448	0,49	0,00200	0,00229	1,145	1,059
	0,332	0,35	0,00200	0,00204	1,184	1,078

NOTICIÁRIO

(CONTINUAÇÃO)

6.° simpósio ibero-americano de catálise

7 a 11 de Agosto de 1978 — Rio de Janeiro — Brasil

1. OBJECTIVO

Na sequência dos Simpósios de Catálise realizados bienalmente — Madrid-Espanha (1968), Santa Fé-Argentina (1970), Caracas-Venezuela (1972), México-México (1974) e Lisboa-Portugal (1976), realizar-se-á no Brasil, no Rio de Janeiro, o VI SIMPÓSIO IBERO-AMERICANO DE CATÁLISE, com o objectivo de proporcionar àqueles envolvidos no assunto um intercâmbio de ideias e experiências com os especialistas na área.

2. PROGRAMA TÉCNICO

O Simpósio constará de sessões plenárias e de sessões com apresentação de trabalhos técnicos.
Nas sessões plenárias (na parte da manhã) serão apresentadas conferências por renomados especialistas, visando a proporcionar um amplo panorama da situação actual da catálise e suas perspectivas futuras.
Nas sessões de apresentação de trabalhos técnicos, cada autor disporá de 20 minutos para apresentação do trabalho seguidos de 20 minutos para debates.

3. IDIOMA OFICIAL

Os idiomas oficiais do Simpósio são o Português, o Espanhol e o Inglês. Haverá serviço de tradução simultânea.

4. EXPOSIÇÃO INDUSTRIAL

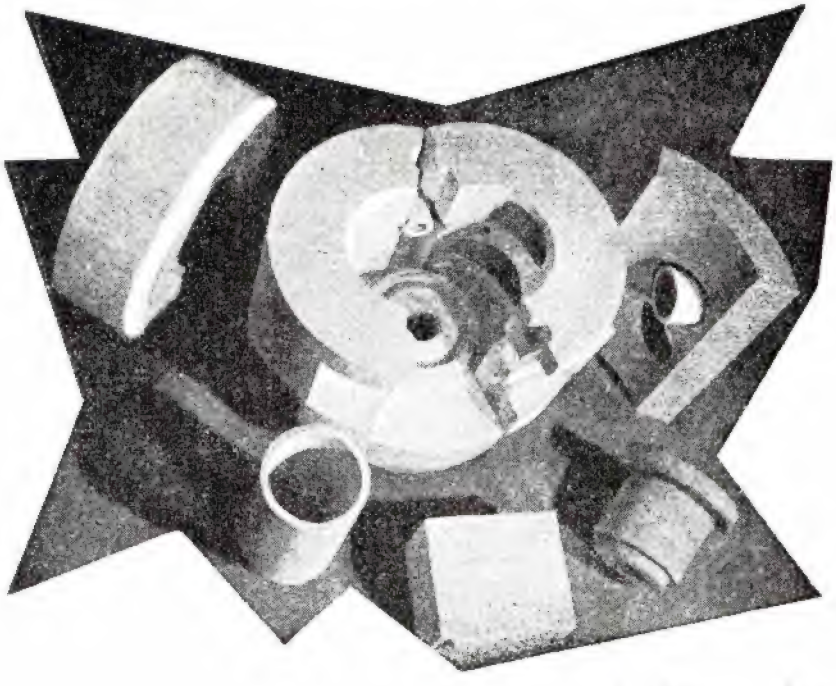
Anexo ao Simpósio será realizada uma Exposição Industrial.

Para mais informações consultar:

Instituto Brasileiro de Petróleo
Avenida Rio Branco, 156-10.° andar - Sala 1035
Caixa Postal, 343 — CEP 20 000
Tels.: 221-9121 e 222-5843
RIO DE JANEIRO — RJ/BRASIL

a técnica moderna emprega

BETÕES REFRACTÁRIOS



à base dos cimentos

FONDU LAFARGE

e

SECAR 250

porque são

práticos
eficientes
económicos

REFRACTÁRIOS ATÉ 1800° C

REFRACTÁRIOS ISOLANTES ATÉ 1700° C

Os nossos serviços técnicos, especializados, estão à vossa inteira disposição para estudar, sem qualquer encargo da vossa parte, a adaptação dos BETÕES REFRACTÁRIOS a todos os vossos problemas

AGUIAR & MELLO L.DA

P. do Município, 13-1.º — LISBOA — Tel. 32 11 51/2

C. D. U. 624.07[012.4]2

Betão normal reforçado com armadura metálica

J. M. MADEIRA COSTA
Engenheiro Civil

9 — VALORES «MÍNIMOS» E «MÁXIMOS» DE «α»; EFEITOS DA RESISTÊNCIA À TRACÇÃO DO BETÃO; ERROS DE CONSTRUÇÃO

9.1 — Generalidades

Os valores de α devem ser limitados, inferiormente, a valores construtivamente aceitáveis.

Com efeito, na limitação da espessura mínima da camada de compressão, haverá que ter em conta pelo menos os seguintes factores:

a) distância das armaduras de montagem à fibra superior (2 a 3 cm no mínimo);

b) máxima dimensão do inerte (2 a 4 cm);

c) a resistência da camada superior do betão ser normalmente menor que a resistência média do betão utilizado;

d) erros de construção (2 a 5 cm), função da altura e vão da peça.

Por outro lado ainda, as secções têm de ser verificadas à rotura e, nesta fase de rotura, a linha neutra sobe em relação à linha neutra em «FASE II», o mesmo é dizer que a zona de compressão se reduz.

Um critério integrador e satisfatório dos factores indicados, será porventura, impor que:

$$\alpha \geqslant \frac{k_1}{\sqrt{h}} \qquad (9.1)$$

h — altura útil da secção em cm;

k_1 — coeficiente de valor entre 0,8 e 1,0.

Dado que a % de armadura está relacionada com a posição da linha neutra (α . h), o critério indicado pode ser substituído pela fixação de uma % mínima de armadura.

A percentagem mínima de armadura tem de ser vista tendo também em conta os critérios indicados no Capítulo 3.

Como, por outro lado, o betão apresenta uma determinada resistência à tracção, as limitações atrás indicadas conduzem a que, até determinados valores de μ, as secções tenham muito pequena probabilidade de fissuração.

Este facto tem repercurssões várias no comportamento das peças e, em especial, na sua deformabilidade.

Os aspectos acima, sucintamente apontados, serão tratados seguidamente.

9.2 — Armadura mínima aconselhável

1 — Por considerações de limitação da «zona de compressão»

Tomando como critério que:

$$\boxed{\alpha \geqslant \frac{k_1}{\sqrt{h}}} \qquad (9.2)$$

com $k_1 = 0{,}85$, obtêm-se os valores mínimos α e α h indicados no Quadro 9.1.

«α» e «α h» $k_1 = 0{,}85$

h (cm)	10	20	40	60	100	200
α	0,27	0,19	0,13	0,11	0,09	0,06
α h (cm)	2,7	3,8	5,4	6,6	8,5	12,0

QUADRO 9.1

Como critério construtivo, parece aconselhável que (α h) seja, pelo menos, igual a 2 vezes a máxima dimensão do inerte utilizado.

* * *

Tanto para as secções rectangulares como para as secções T em que $\alpha \leqslant n_o$, é:

$$\frac{1}{2} \cdot \alpha bh\, \sigma'_{bs} = A_a \cdot \sigma_a$$

ou

$$\omega_a = \frac{1}{2} \cdot \alpha \cdot \theta_{1\alpha}$$

Sendo θ_{1_α} dado por (5.7), obtém-se:

$$\boxed{\omega_a = \frac{1}{l} \cdot \frac{1}{m} \cdot \frac{k_1^2}{h} \left(\frac{1}{1 - \frac{k_1}{\sqrt{h}}} \right)} \qquad (9.3)$$

A expressão (9.3) permite obter as mínimas percentagens de armadura ω_a de modo a respeitar a relação (9.2). Tais valores vem indicados no Quadro 9.2.

ω_a (mínimo) % $\left\{ \begin{array}{l} m = 15 \\ k_1 = 0{,}85 \end{array} \right.$

h cm	10	20	40	60	100	200
ω_a %	0,33	0,15	0,07	0,05	0,03	0,02

QUADRO 9.2

2 — **Por considerações da relação A_b/A_a**

Conforme Cap. 3, importa que a relação A_b/A_a esteja dentro de certos limites para que o comportamento médio da secção seja o esperado

a) — Secção rectangular ▮

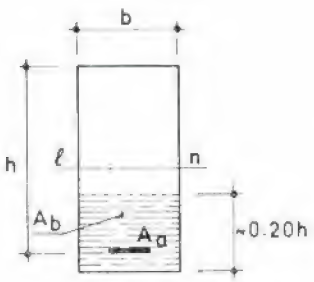


FIG.9.1

Admitindo

$A_b = 0{,}20bh$

Tomando para percentagem mínima e máxima de armadura, respectivamente, as correspondentes a: $A_b/A_a = 80$ e $A_b/A_a = 10$, obtém-se:

$$\left\{ \begin{array}{ll} \omega_{min} = \dfrac{A_a}{bh} = \dfrac{0{,}20}{80} & = 0{,}29\ \% \\ \omega_{máx} = 0{,}20/10 & = 2{,}00\ \% \end{array} \right.$$

b) — Secção T

Para a secção T deviam considerar-se vários valores de m_o e n_o.

Estuda-se, no entanto, somente uma secção que se afaste sensivelmente da secção rectangular. Para as situações intermédias, obter-se-iam, naturalmente, resultados intermédios.

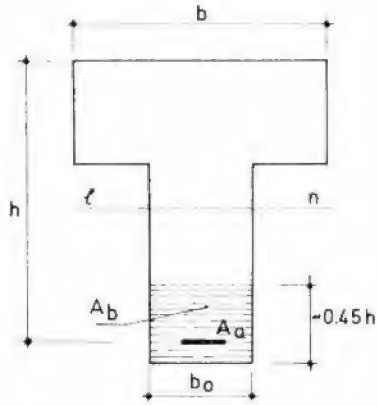


FIG. 9.2

Assim, admitindo:

$A_b = 0{,}45.\ b_o.\ h$ e $b_o = 0{,}25\ b$, obtém-se:

$A_b = 0{,}1125.\ bh$

E, assim:

$$\left\{ \begin{array}{ll} \omega_{min} = \dfrac{0{,}1125}{80} & = 0{,}15\ \% \\ \omega_{máx} = 0{,}1125/8 & = 1{,}40\ \% \end{array} \right.$$

Os valores indicados de ω_{min} e $\omega_{máx}$ tanto em *a*) como *b*) não tem, obviamente, outro significado além do de permitir obter ordens de grandeza.

9.3 — Momento de fissuração

1 — **Utilizando as fórmulas gerais da flexão e admitindo só o funcionamento do betão.**

a) — Secção ▮

$$\sigma = \frac{6.\ M_s}{bh_t^2} = \frac{6}{1{,}14} \times \mu \qquad (\text{para } h_t = 1{,}07\ h)$$

Para $\sigma_b = 25$ kgf. cm.$^{-2}$ resulta $\boxed{\mu = 4{,}8}$

b) — Secção T (com $m_o = n_o = 0{,}20$)

Os valores de m_o e n_o aqui utilizados estarão perto dos mínimos atingíveis normalmente.

Nesta situação, é:

$$I = 1{,}225 \times 0{,}377 \times \frac{bh^3}{12}$$

e

$$v_1 = 0{,}721\ h$$

donde

$$\frac{I}{v_1} = 0.053\ bh^2$$

e

$$\sigma = 18{,}7\ \mu$$

Para

$\sigma_b = 25$ kgf. cm.$^{-2}$ resulta $\boxed{\mu = 1{,}3}$

2 — **Considerando o funcionamento conjunto do betão e da armadura.**

a) — Secção ▮

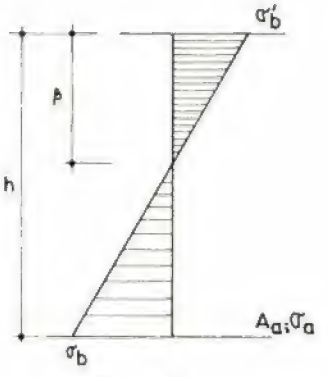


FIG. 9.3

É:

$$\frac{1}{2} \cdot \beta \cdot bh \cdot \sigma'_b = \frac{1}{2}\left(1-\beta\right) bh \cdot \sigma_b + A_a \cdot \sigma_a$$

ou

$$\boxed{\beta \cdot \sigma'_b = (1-\beta) \cdot \sigma_b + 2 \cdot \omega_a \cdot \sigma_a} \qquad (9.3)$$

Tomando, para início da fissuração:

$$\sigma_b = 20 \ \text{kgf} \cdot \text{cm}^{-2}$$
$$\varepsilon_b = 20 \times 10^{-5}$$

e usando uma armadura mínima:

$$\boxed{\omega_a = 0{,}25\ \%} \ ;$$

tem-se:

$$\sigma_a = 20 \times 10^{-5} \times 2{,}1 \times 10^6 = 420 \ \text{kgf} \cdot \text{cm}^{-2}$$

e,

$$\sigma_b = \frac{\beta}{1-\beta}\left(20 \times 10^{-5} \cdot E_b\right) \qquad (9.4)$$

Substituindo estes valores em (9.3), obtém-se:

$$\beta = \frac{-42{,}1 + \sqrt{42{,}1^2 + 88{,}4\,(k_2 - 20)}}{2\,(k_2 - 20)} \qquad (9.5)$$

com

$$k_2 = 20 \times 10^{-5} \cdot E_b$$

É:

$$M = A_a \cdot \sigma_a \cdot h\left(1 - \frac{\beta}{3}\right) + \frac{1}{2}\left(1-\beta\right) bh \times$$
$$\times 20 \times \frac{2}{3}\, h$$

ou

$$\boxed{\mu = \omega_a \cdot 420\left(1 - \frac{\beta}{3}\right) + \frac{20}{3}\left(1-\beta\right)} \qquad (9.6)$$

ou, ainda:

$$\mu = \mu_a + \mu_b \qquad (9.7)$$

em que:

$\mu_a = 420\left(1 - \frac{\beta}{3}\right)$; representa a contribuição da armadura,

e

$\mu_b = \frac{20}{3}\left(1-\beta\right)$; representa a contribuição do betão.

Resolvendo as equações (9.4), (9.5) e (9.6), para vários valores de E_b, verifica-se que se obtém valores semelhantes e da ordem de grandeza seguinte:

$\beta = 0{,}43$;
$\mu_a = 0{,}90$;
$\mu_b = 4{,}10$;

$\mu = 5{,}0$;
$\sigma'_b = 38 \ \text{kgf} \cdot \text{cm}^{-2}$.

b) — Secção T

Resolvendo o mesmo problema para uma secção T, com: $\boxed{\omega_a = 0{,}20\ \%}$ e $m_o = 0{,}25$

obtém-se:

$\beta = 0{,}30$;
$\mu_a = 0{,}76$;
$\mu_b = 1{,}24$;

$\mu = 2{,}0$;
$\sigma'_b = 20 \ \text{kgf} \cdot \text{cm}^{-2}$

* * *

— Verifica-se assim que secções rectangulares, quando armadas com $\omega_a = 0{,}25\ \%$ e submetidas a valores de μ inferiores a 5,0, terão pequena probabilidade de fissuração.

— Para as secções T os valores correspondentes de μ de início de fissuração variarão entre 2,0 e 5,0 para valores de m_o entre 0,25 e 1,0 e $\omega_a = 0{,}20\ \%$.

9.4 — Erros de Construção

1 — Generalidades

Como indicado em 9.1, são de esperar erros de construção tanto no que se refere à qualidade do betão, como quanto às dimensões da secção e à colocação e quantidade da armadura. Os erros resultantes de deficiente introdução do pre-esforço, serão estudados noutro capítulo.

Variações da altura da secção e na colocação da armadura terão incidência directa na altura útil h da secção.

Neste capítulo será analisado a importância dessas variações no comportamento da secção.

* * *

Na execução duma obra são de esperar variações de h, de pelo menos 2 a 5 cm, dependente dos cuidados de execução, da altura e do vão da peça. Para grandes vãos e grandes alturas, as variações esperadas de h poderão ser ainda maiores.

No que se segue designa-se por k_o a relação entre a altura útil real h' e a altura útil do projecto h.

$$k_o = \frac{h'}{h} = \frac{h \pm d_h}{h} = 1 - \frac{d_h}{h} \qquad (9.7)$$

d_h — erro de construção cometido.

Os valores de d_h terão, naturalmente, incidência diferente no comportamento da peça consoante a sua altura útil h seja grande ou pequena.

Os valores esperados de d_h, poderão ser representados por relações do tipo:

$$\boxed{d_h = k_3 \cdot \sqrt{h} \cdot \sqrt[4]{\frac{l}{1000}}} \qquad (9.8)$$

k_3 — coeficiente numérico com ordens de grandeza entre 0,5 e 1,0;

h — altura útil da secção em cm;

l — vão da peça em cm.

Como se referiu no Capítulo 7, a relação $\frac{l}{h} = k$ toma, normalmente, valores entre 10 e 30.

De (9.8), é:

$$\boxed{d_h = k_3 \cdot \sqrt[4]{\frac{k}{1000}} \cdot \sqrt[4]{h^3}} \qquad (9.9)$$

No Quadro 9.3, indicam-se alguns valores aproximados esperados, de d_h.

No mesmo quadro indicam-se os correspondentes valores de k_o.

h_{cm}	10	20	40	60	100	200
d_h cm	1,6	2,0	3,0	4,0	6,0	8,0
k_o	0,84	0,90	0,92	0,93	0,94	0,96

QUADRO 9.3

* * *

No que se segue, e para sistematização, consideram-se, deste ponto de vista (erros de construção), as secções divididas em três grandes grupos.

Indicam-se seguidamente os referidos grupos, as alturas h correspondentes e os respectivos valores de k_o:

a — Secções finas — $h \leqslant 15$ cm; $k_o = 0{,}84$;

b — Secções médias — $20 < h < 50$ cm; $k_o = 0{,}90$;

c — Secções altas — $h > 60$ cm; $k_o = 0{,}95$.

* * *

2 — Tratamento analítico

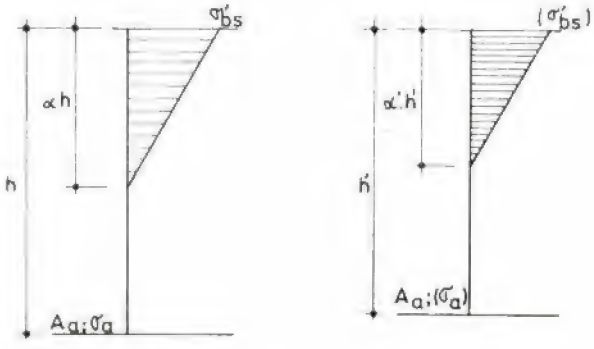


FIG. 9.4

Pretende-se determinar a posição α'h' da linha neutra e as tensões (σ_a) e (σ'_{bs}) quando a secção, por defeito de construção, apresenta uma altura útil h' em vez da altura h prevista, e se encontra submetida ao mesmo momento e armada com a armadura prevista.

a) — Secção ■

É:

$$\omega_a = \frac{A_a}{bh} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\alpha^2}{m(1-\alpha)} \quad ; \quad \omega'_a = \frac{A_a}{b.h'}$$

Fazendo

$$h' = k_o . h \quad ,$$

é:

$$\sigma'_a = \frac{\sigma_a}{k_0}$$

mas

$$\sigma'_a = \frac{1}{2} \cdot \frac{\alpha'^2}{m\,(1-\alpha')}$$

donde

$$\frac{\alpha'^2}{(1-\alpha')} = \frac{1}{k_0} \cdot \frac{\alpha^2}{(1-\alpha)}$$

e, fazendo:

$$\eta = \frac{1}{k_0} \cdot \frac{\alpha^2}{(1-\alpha)}$$

pode determinar-se $\underline{\alpha'}$ da expressão seguinte:

$$\boxed{\alpha' = \frac{-\eta + \sqrt{\eta^2 + 4\eta}}{2}} \qquad (9.10)$$

Mas:

$$M = \frac{1}{2} \cdot \sigma'_{bs} \cdot bh^2 \cdot \alpha \left(1 - \frac{\alpha}{3}\right)$$

e

$$M = \frac{1}{2} \cdot \left(\sigma'_{bs}\right) \cdot b\,h^2 \cdot k_0^2 \cdot \alpha' \left(1 - \frac{\alpha'}{2}\right)$$

donde

$$\boxed{\left(\sigma'_{bs}\right) = \frac{\alpha}{\alpha'} \cdot \frac{\left(1 - \frac{\alpha}{3}\right)}{\left(1 - \frac{\alpha'}{3}\right)} \cdot \frac{1}{k_0^2} \cdot \sigma'_{bs}} \qquad (9.11)$$

e

$$\boxed{\left(\sigma_a\right) = \frac{m\,(1-\alpha')}{\alpha'} \cdot \left(\sigma'_{bs}\right)} \qquad (9.12)$$

De (9.11), é:

$$\boxed{\left(\sigma'_{bs}\right) = \left[\frac{\alpha}{\alpha'} \cdot \frac{\left(1 - \frac{\alpha}{3}\right)}{\left(1 - \frac{\alpha'}{3}\right)} \cdot \frac{1}{k_0^2}\right] \cdot \frac{\alpha}{(1-\alpha)} \cdot \sigma_a} \qquad (9.13)$$

Donde:

$$\boxed{\left(\sigma_a\right) = \frac{(1-\alpha')}{\alpha'} \cdot \left[\frac{\alpha}{\alpha'} \cdot \frac{\left(1 - \frac{\alpha}{3}\right)}{\left(1 - \frac{\alpha'}{3}\right)} \frac{1}{k_0^2}\right] \cdot \frac{\alpha}{(1-\alpha)} \cdot \sigma_a} \qquad (9.14)$$

A partir destas expressões foi possível obter os valores do Quadro 9.4 para várias situações.

* * *

Secção I

	$k_0 = 0,85$						$k_0 = 0,95$					
α	0,15	0,20	0,25	0,40	0,50	0,60	0,10	0,20	0,25	0,40	0,50	0,60
η	0,0137	0,053	0,125	0,281	0,520	0,917	0,0122	0,049	0,122	0,317	0,594	1,071
α'	0,102	0,203	0,289	0,166	0,709	0,609	0,179	0,276	0,323	0,477	0,529	0,630
σ'_{bs}/σ_a	1,08	1,08	1,08	1,09	1,09	1,10	1,11	1,12	1,12	1,14	1,15	1,17
σ_{bs}/σ_a	1,05	1,05	1,06	1,06	1,06	1,06	1,19	1,20	1,20	1,20	1,20	1,21

$\sigma_a = 600$ kgf/cm²

σ'_{bs}	4,8	10,9	18,7	29,1	43,7	65,8	5,8	12,2	22,8	35,8	54,2	82,6
σ_{bs}	632	632	633	634	634	634	717	718	720	722	723	725

$\sigma_a = 1400$ kgf/cm²

σ'_{bs}	11,2	25,3	43,5	67,8	102,0	153,4 *	13,5	28,5	53,2	83,5	126,4	192,9
σ_{bs}	1475	1476	1477	1478	1479	1479 *	1672	1676	1680	1684	1686	1688 *

$\sigma_a = 2400$ kgf/cm²

σ'_{bs}	19,2	43,4	74,6	116,3	174,9 *	263,1 *	23,2	48,8	91,3	143,2 *	216,7 *	329,1 *
σ_{bs}	2528	2529	2532	2535	2538 *	2538 *	2868	2874	2880	2887 *	2891 *	2898 *

$\sigma_a = 3600$ kgf/cm²

σ'_{bs}	28,8	65,1	111,9	174,4 *	262,3 *	394,6 *	34,9	73,2	136,9	214,8 *	325,1 *	
σ_{bs}	3793	3796	3798	3803 *	3807 *	3807 *	4298	4310	4321	4330 *	4338 *	

* Valores pertencentes acima dos limites de utilização

QUADRO 9.4

Análise do Quadro 9.4, resumo:

Limites correntes

— Peças finas ($h < 15$ cm) — $k_0 = 0,84$

$\sigma_a = 600$ kgf. cm^{-2} ; $\alpha > 0,60$ (*)
$\sigma_a = 1400$ » ; $\alpha < 0,50$
$\sigma_a = 2400$ » ; $\alpha < 0,40$
$\sigma_a = 3600$ » ; $\alpha < 0,30$

— Peças altas ($h > 60$ cm) — $k_0 = 0,95$

$\sigma_a = 600$ kgf. cm^{-2} ; $\alpha > 0,60$ (*)
$\sigma_a = 1400$ » ; $\alpha < 0,55$
$\sigma_a = 2400$ » ; $\alpha < 0,50$
$\sigma_a = 3600$ » ; $\alpha < 0,40$

(*) — Estes valores não serão normalmente atingíveis pois correspondem a % de armadura muito superiores às indicadas em 9.2.2 que correspondem a valores de $\underline{\alpha}$ da ordem de 0,54.

b) — Secção T

Fazendo um estudo semelhante para uma secção «T» com $m_o = n_o = 0{,}18$ verifica-se que se obtêm valores da ordem de grandeza dos valores obtidos para a secção «■». Para secções T que mais se aproximem da secção «■» melhor aproximação haverá.

* * *

Em face da conclusão exposta, este estudo limita-se a apresentar somente as equações que permitiriam a resolução do problema.

E:

$$\omega_a = \frac{A_a}{b\,h} = \theta_{2\alpha b} \cdot \theta_{1\alpha} = \frac{1}{2} \cdot \alpha \cdot \theta_{0\alpha} \cdot \theta_{1\alpha}$$

será

$$\omega'_a = \frac{A_a}{b\,h'} \qquad \text{com} \qquad \boxed{h' = k_0 \cdot h}$$

Mas

$$M = \gamma_{1\alpha b} \cdot b\,h^2 \cdot \sigma'_{bs} = \gamma'_{1\alpha b} \cdot b\,h^2 \cdot k_0^2 \cdot (\sigma'_{bs})$$

Donde

$$\boxed{(\sigma'_{bs}) = \frac{\gamma_{1\alpha b}}{\gamma'_{1\alpha b}} \cdot \frac{1}{k_0^2} \cdot \sigma'_{bs}}$$

e

$$\boxed{(\sigma_a) = \frac{\theta_{1\alpha} \cdot \gamma_{2\alpha b} \cdot (\varepsilon_\alpha)}{\theta'_{1\alpha} \cdot \gamma'_{2\alpha b} \cdot (\varepsilon_\alpha)} \cdot \sigma_a}$$

* * *

No Quadro 9.5 apresentam-se alguns valores médios obtidos a partir dos critérios expostos.

Conclusão:

— Verifica-se que com peças finas os cuidados construtivos são importantes e podem ser decisivos no comportamento das peças. Com efeito, erros de poucos centímetros traduzem-se facilmente em valores de k_o da ordem de 0,84. Para estes valores de k_o as tensões na armadura (σ_a) podem atingir valores que excedam de 20 % ou mais, os valores esperados. Este facto pode ter repercussão importante na fissuração e deformação da peça.

— Em peças finas armadas com tensões σ_a elevadas pode haver descontinuidades bruscas no seu comportamento. Com efeito, para baixos valores de μ ($\mu < 4{,}0$), é provável que o betão não rompa por tração, mas, rompendo, surge, bruscamente, uma variação sensível de comportamento sobretudo se se utilizarem tensões elevadas na armadura (ver Quadro 9.4).

Secção	ω_{min}	ω_{min}	$\omega_{máx}$	$\omega_{máx}$		
	$h < 14$	$h \geq 20$	σ_a	$h < 14$	$20 \leq h \leq 60$	$h \geq 60$
■	$\omega > 0{,}24$ $\omega_a > 0{,}26$ %	$\omega > 0{,}22$ $\omega_a > 0{,}20$ %	600	$\omega < 0{,}54$ $\omega_a < 2{,}1$ %	*	$\omega < 0{,}54$ $\omega_a < 2{,}1$ %
			1400	$\omega < 0{,}50$ $\omega_a < 1{,}6$ %	*	$\omega < 0{,}54$ $\omega_a < 2{,}1$ %
			2400	$\omega < 40$ $\omega_a < 0{,}9$ %	*	$\omega_a < 0{,}45$ $\omega_a < 1{,}3$ %
			3600	$\omega < 0{,}30$ $\omega_a < 0{,}4$ %	*	$\omega < 0{,}36$ $\omega_a < 0{,}7$ %
T	$\omega > 0{,}24$ $\omega_a > 0{,}26$ %	$\omega > 0{,}20$ $\omega_a > 0{,}16$ %	Os valores dependem de σ_a e de m_o e n_o mas ω_a é normalmente, menor que 1,5 % (ver 9.2.2).			

(*) Utilizar valores intermédios. σ_a — kgf/cm²
ω_a — %
h — cm

QUADRO 9.5

Noticiário escolar

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

● A lista «A», tida como conotada com o UDP, venceu as eleições no sector dos alunos para a Assembleia de representantes. Obteve 1112 votos (11 lugares), seguindo-se-lhe as listas «B», afecta à JSD 1010 votos (10 lugares), «C», da JC e independentes de direita (469 votos e 4 lugares), a «D», da UEC (380 votos e 3 lugares), a «E», da JS (213 votos e 2 lugares) e finalmente a lista «F», do MRRP, com 26 votos, o que não lhe concedeu qualquer lugar na Assembleia.

No sector dos professores, a vitória pertenceu à lista «B», considerada de Direita, com 194 votos e 18 lugares. A lista «A», independentes de esquerda, alcançou 64 votos (6 lugares) e a lista «C», considerada próxima do PCP, obteve 71 (também 6 lugares).

Finalmente e no que respeita aos trabalhadores não docentes, a lista «A» teve 54 votos (6 lugares), a «B», 41 votos (4 lugares) e a «C» 46 votos (5 lugares).

(Informação do «Jornal de Notícias» de 25-2-78)

FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

● O prof. Manuel Gomes Guerreiro, secretário de Estado do Ambiente no I Governo Constitucional e catedrático do Instituto Universitário de Évora, foi contratado para exercer funções docentes na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

O prof. Gomes Guerreiro teve uma acção preponderante no Instituto Universitário de Évora, onde foi membro da Comissão Instaladora e do seu conselho administrativo, pró-reitor e chefe de vários departamentos.

(Informação do «Diário de Notícias» de 22-2-78)

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

● Concorreram à Assembleia de Representantes duas listas do corpo docente e investigador, duas listas do corpo de trabalhadores administrativos, técnicos e auxiliares e duas listas do corpo discente. Encabeçavam as listas dos docentes os professores Bernardo Calafate de Vasconcelos (lista «A») e Armando Campos Matos («B»). Cada uma destas listas obteve 15 lugares na Assembleia de Representantes. Quanto à representação do corpo de administrativos verifica-se que a lista «B» obteve 9 lugares enquanto que a «A» — classificada como unitária de esquerda — passa a dispor de 6 lugares. Encimam as listas, respectivamente, Maria Manuela Andrade (A) e Manuel Silva Fernandes (B).

Em relação aos discentes ainda não estão homologados os resultados dado que o Conselho Directivo da Faculdade apresentou ao MEC uma proposta de impugnação, alegando ter havido irregularidades. A manterem-se os resultados apurados nas contagens são os seguintes os números verificados: inscritos 3043; votantes 1574; brancos ou nulos 62; votantes nas listas A (780) e B (732), pelo que uma destas listas teria 15 elementos eleitos.

Entretanto, foram também eleitos os membros do Conselho Pedagógico da Faculdade, sendo escolhidos representantes dos professores, assistentes e investigadores para os seis departamentos existentes. Em adenda à acta das eleições foi decidido pelo Conselho Directivo tornar dependente do MEC a decisão de homologação das eleições para o CP por ter sido apresentada uma proposta referente ao corpo discente (Assembleia dos Representantes).

(Informação do «Jornal de Notícias» de 7-2-78)

● Os alunos da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto paralisaram ontem duas horas, protestando contra a reintegração do professor Palermo de Faria, que lecciona o quinto ano de Electrotecnia (opção de «Automação e Controlo»).

Este docente havia sido afastado pelos alunos, em 1975, por alegada incompetência, tendo sido reintegrado recentemente, por decisão do Conselho Científico daquela escola.

Em reunião geral de alunos, realizada há dias, os estudantes decidiram paralisar ontem as aulas, das 11 às 13 horas, como forma de pressão sobre o Conselho Científico a fim de conseguirem que a cadeira em causa seja leccionada, no segundo semestre por outro professor.

(Informação do «Diário de Notícias» de 22-2-78)

A **TÉCNICA** é a única revista de engenharia do nosso País. Possuimos um corpo de colaboradores que são a guarda avançada da engenharia portuguesa.

A **TÉCNICA** põe à sua disposição trabalhos de grande valor e actualidade em todos os campos.

A **TÉCNICA** pode ter, por conseguinte, um papel importante na continuidade e actualização da sua formação profissional.

Escreva-nos para:

TÉCNICA — Revista de Engenharia — A. E. I. S. T.

Av. Rovisco Pais, I. S. T. — LISBOA-1

e receberá um exemplar grátis da nossa revista.

Para os estudantes temos um preço especial de assinaturas

5 Números ... ... 120$00
10 Números ... ... 200$00

Resumo dos Artigos publicados na «Técnica» n.º 448

Ano LIII — Março 1978

C. D. U. **621.39(469)**

FARO, M. Abreu; TEIXEIRA, Pedro

Concepção e projecto de sistemas de telecomunicações no País

«Técnica», Lisboa, LIII (448) Mar. 1978, p. 453-460

C. D. U. **69.002:72.011.1**

TEIXEIRA TRIGO, José A.

Tecnologias da construção de habitação

«Técnica», Lisboa, LIII (448) Mar. 1978, p. 463-483

Este relato integra-se no Tema 2 — «Exigências funcionais e problemas construtivos para a habitação social» e procura tratar os assuntos relativos a «Processos construtivos para a habitação; construção industrializada e prefabricada; equipamentos auxiliares da construção».

Após a apresentação duma panorâmica geral da tecnologia da construção de habitação a nível europeu e a nível nacional, faz-se uma análise sistemática dos principais processos e sistemas de construção que vêm sendo utilizados, insistindo-se no processo de industrialização em curso no sector. No decorrer da exposição, são referidas e comentadas as diversas comunicações apresentadas, seis das quais se enquadram claramente no âmbito do relato por tratarem apenas de processos tecnológicos e das suas implicações no projecto, e duas outras abordando problemas de qualidade com eles conexos.

O trabalho apoia-se nas comunicações apresentadas ao Congresso, na vasta bibliografia disponível, da qual se salienta apenas a mais significativa, e ainda na experiência pessoal do seu autor adquirida na condução da Divisão de Processos de Construção, do L.N.E.C., e na regência das cadeiras de Edificações e de Processos Gerais de Construção, do I.S.T.

Termina-se com um conjunto de questões que se espera possam servir de base a uma reflexão comum e motivar a generalização do debate.

C. D. U. **174:627.89.007.1**

CORREIA MINEIRO, António José

Acidentes em obras de engenharia civil e a responsabilidade dos engenheiros. O caso da barragem de Teton.

«Técnica», Lisboa, LIII (448) Mar. 1978, p. 485-491

A propósito do colapso da barragem de terra de Teton, ocorrido nos Estados Unidos da América, em Junho de 1976, e atribuído a deficiências de concepção e projecto, tecem-se considerações sobre as responsabilidades do engenheiro civil no exercício da sua profissão.

Salienta-se a obrigação das Universidades em conferir adequada formação técnico-científica, necessariamente interdiciplinar, e em incutir espírito de responsabilidade e integridade para o futuro exercício da profissão.

Comenta-se o problema da segurança de barragens, em especial de terra, e a necessidade das entidades oficiais responsáveis estabelecerem critérios mínimos de segurança adequados a tal tipo de obras.

Apresentam-se em anexo extractos das conclusões principais do relatório da comissão de inquérito ao colapso da barragem de Teton.

C. D. U. **532.54**

ALMEIDA, A. Betâmio de

Escoamento com superfície livre em canais de secção circular.

«Técnica», Lisboa, LIII (448) Mar. 1978, p. 493-503

O autor apresenta uma sistematização das características do escoamento com superfície livre em canais de secção circular. Mostra-se, igualmente, a vantagem do uso dum traçador automático de gráficos.

C. D. U. **624.07[012.4]2**

MADEIRA COSTA, J. M.

Betão reforçado com armadura metálica.

«Técnica», Lisboa, LIII (448) Mar. 1978, p. 505-510

Synopsis of articles published in «Técnica» n.° 448

LIII – March 1978

U. D. C. **532.54**

ALMEIDA, A. Betâmio de

Flow in open channels with circular section.

«Técnica», Lisboa, LIII (448) Mar. 1978, p. 493-503

The author presents a systematization of the circular open channel flow chracteristics. The advantages of a «plotter», in such a study, is also shown.

U. D. C. **624.07[012.4]2**

MADEIRA COSTA, J. M.

Normal concrete reinforced with steel.

«Técnica», Lisboa, LIII (448) Mar. 1978, p. 505-510

U. D. C. **621.39(469)**

FARO, M. Abreu; TEIXEIRA, Pedro

Conception and plan of telecommunication systems in Portugal.

«Técnica», Lisboa, LIII (448) Mar. 1978, p. 453-460

U. D. C. **69.002:72.011.1**

TEIXEIRA TRIGO, José A.

Housing construction methods

«Técnica», Lisboa, LIII (448) Mar. 1978, p. 463-483

This report falls within Theme 2 — «Function requirements and construction problems regarding social housing», and deals with matters such as «Housing construction methods; industrialized and prefabricated building construction; site-work equipments».

After giving an overall picture of building construction methods on both a national and a European level, the author goes on to make a systematic analysis of the principal methods and techniques used in building construction, insisting on the industrialization process now under way in this sector. The different papers presented are mentioned and commented on. Six of them fall clearly within the scope of this report since they concern only technical methods and their implications in the project, and two others deal with problems of quality related with them.

The work is based on the papers presented at the Congress, on the vast bibliography available, of which only the most important is mentioned, and on the author's personal experience while head of the Building Construction Methods Division of L.N.E.C. and while holder of the chairs of Building Construction and General Construction Methods at I.S.T.

Finally, a set of questions is put, which it is hoped will serve as the basis of a common reflexion and bring about the generalization of the debate.

U. D. C. **174:627.89.007.1**

CORREIA MINEIRO, António José

Collapse in civil engineering works and engineering responsability. Teton dam's case.

«Técnica», Lisboa, LIII (448) Mar. 1978, p. 485-491

Related to the collapse, atributed to design deficiencies, of Teton dam in United States, in June 1976, comments are made upon engineering responsability of civil engineers in their professional work.

The University duties in providing for technical and cientific qualification, necessarily multy-disciplinary, as well as in inculcating engineering responsability and integrity sense, for the future professional work, are emphasized.

Comments on dam's safety, particulary earth dams and on the need for suitable safety criteria, are made.

Extracts from the principal conclusions of Teton dam failure report are presented in appendix.

Edições da Técnica

TABELA DE PREÇOS

TABELAS PARA O CÁLCULO DO BETÃO ARMADO

Brazão Farinha, 6.ª edição — 1970 . . . 450$00

TOPOGRAFIA GERAL

C. Xerez — 1.º vol. 3.ª edição — 1978 . . 350$00

C. Xerez — 2.º vol. 2.ª edição — 1966 . . 250$00

TABELAS TÉCNICAS

Vicente Ferreira e Brazão Farinha, 8.ª edição 1977 500$00

MANUAL DE HIDRÁULICA GERAL

A. Lencastre, 2.ª edição — 1969 . . . . 450$00

DICIONÁRIO DE UNIDADES E TABELAS DE CONVERSÃO

Vasco Costa e Osvaldo Francês, 1.ª edição — 1959 75$00

NÚMEROS E VARIÁVEIS COMPLEXAS

A. H. Simões de Abreu, 1.ª edição 1977 . . 312$50

GUIA DE ANÁLISE QUÍMICA DAS ÁGUAS

A. Herculano de Carvalho, 1.ª edição — 1961 150$00

CÁLCULO DE PÓRTICOS

G. Kani — Trad. da 7.ª edição alemã — 1962 100$00

MANUAL DE ESTRUTURAS

Brazão Farinha — 1.º VOLUME

Encadernado . . . . . 625$00

Plastificado . . . . . 587$50

2.º e 3.º Volumes . . . . . (*)

BETÃO PREESFORÇADO

(A cargo dos participantes na Semana de Betão Preesforçado — I. S. T. — 1975) . . 425$00

(*) LIVROS A PUBLICAR BREVEMENTE

Desconto de 10% aos assinantes

PEDIDOS À técnica

Já à Venda

BETÃO PREESFORÇADO

1.ª EDIÇÃO - 1978

(A cargo dos participantes na Semana de Betão Preesforçado - I.S.T. - 1975)

TOPOGRAFIA GERAL 1.º VOLUME

3.ª EDIÇÃO - 1978

Eng.º C. Xerez